

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche
Scientifique



Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

Mémoire de fin d'étude

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Génie mécanique

Spécialité : Énergétique et Énergies renouvelables

Thème

Conception et réalisation d'un concentrateur cylindro-parabolique pour production d'énergie thermique

Devant le jury composé de :

Dr. A/ M. ATIA.	Président
Dr. A. BOUKHARI	Examineur
KH. MANSOURI	Examineur
Dr. Y. AOUN	Encadreur

Présenté par :

- M. CHÉDALA
- R. MERIKHI

2015-2016

Dédicace

À nos parents,
À nos familles,
À nos amis.

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, nous remercions, notre créateur de nous avoir donné les forces pour accomplir ce travail.

Nous adressons le grand remerciement à notre encadreur : **AOUN Yacine** qui a proposé le thème de ce mémoire, aussi pour ses conseils et ses orientations.

Nous avons également l'honneur de remercier l'Administration du Département de **Génie Mécanique** d'avoir facilité le processus de sélection du mémoire et de l'encadreur, ainsi que de l'organisation et la bonne coordination.

Un grand merci est adressé aux examinateurs d'avoir accepté la lecture et l'évaluation de notre mémoire.

Finalement, nous remercions tous ceux qui ont participé à réaliser ce mémoire.

SOMMAIRE

Nomenclature	
Introduction générale	3
Chapitre I : Généralités sur l'énergie solaire	
I.1- Introduction.....	5
I.2- Les énergies renouvelables	5
I.2.1.L'éolien (le vent)	6
I.2.2.La biomasse	6
I.2.3.La géothermie	6
I.2.4.L'hydraulique	7
I.2.5.L'énergie solaire	7
I.3-L'énergie solaire	7
I.3.1 - Constitution physique du soleil :	8
I.3.1.A-L'intérieur :	8
I.3.1.B- La photosphère :	8
I.3.1.C- Chromosphère et couronne solaire :	8
I.4- Mouvement de la terre	8
I.5- La sphère céleste	9
I.6- Les coordonnées célestes	10
I.6.1- Les coordonnées géographiques.....	10
I.6.1.1- Longitude.....	10
I.6.1.2- Latitude	10
I.6.2- Les coordonnées horaires	10
I.6.2.1- La déclinaison solaire	10
I.6.2.2- Angle horaire (ω).....	11
I.6.3- Les coordonnées horizontales	11
I.6.3.1- Hauteur angulaire du soleil (Δ).....	12
I.6.3.2- Azimut	12
I.6.4- Angle horaire de coucher du soleil.....	12

I.7- Le rayonnement solaire.....	13
I.7.1- Types de rayonnements.....	13
I.7.1.1- Rayonnement direct.....	13
I.7.1.2 - Rayonnement diffus.....	13
I.7.1.3- Rayonnement global.....	12
I.8- Estimation du rayonnement solaire.....	13
I.8.1- Rayonnement extraterrestre	13
I.8.2- Coefficient de clarté	14
I.8.3- Estimation du rayonnement solaire instantané sur une surface horizontale.....	14
I.8.3.1- Relations entre les moyennes mensuelles.....	14
I.8.3.2- Relation entre les valeurs horaires.....	15
I.8.4- Estimation du rayonnement solaire instantané sur une surface inclinée.....	15
I.8.4.1- Rayonnement direct sur une surface inclinée	16
I.8.4.2- Rayonnement diffus sur une surface inclinée.....	17
I.8.4.3 - Rayonnement provenant de la réflexion.....	17
I.8.4.4 - Rayonnement global sur surface inclinée.....	17
I.9- l'effet de l'orientation d'une surface sur l'énergie incidente.....	18
I.10- Rayonnement en Algérie	19
I.11- Conclusion	19

Chapitre II : Etude théorique d'un concentrateur cylindro- parabolique

II.1- Introduction	21
II.2- Les collecteurs thermiques	21
II.2.1- Captation sans concentration : capteurs solaires thermiques.....	21
II.2.1.1. Capteurs solaires thermiques plans.....	22
II.2.1.2. Les capteurs tubulaires (capteurs sous vide)	23
II.2.2- Captation avec concentration : capteurs à concentrations	23
II.2.2.1- Système de centrale à tour (héliostat)	25
II.2.2.2- Concentrateurs paraboliques	25

II.2.2.3- Concentrateurs cylindro-paraboliques.....	26
II.2.2.3.A- Propriétés des concentrateurs cylindro- parabolique.....	27
II.2.2.3.B- Système optique d'une surface cylindrique.....	27
II.3-La performance d'un concentrateur cylindro- parabolique.....	28
II.4-Montage du concentrateur cylindro-parabolique.....	28
II.4.1- Le montage nord – sud suivant l'axe du monde(a) :.....	28
II.4.2- Le montage est-ouest(b) :.....	28
II.5- Les applications	29
II.5.1- Applications à basses et moyennes températures	29
II.5.2- Applications à hautes températures	29
II.6- Les avantages de la concentration du rayonnement solaire.....	30
II.7- La géométrie parabolique	30
II.7.1- Définition	30
II.7.2- Taille d'une parabole	32
II.7.3- Longueur d'une parabole	33
II.7.4. Surface d'une parabole.....	33
II.7.5. Angle d'ouverture d'une parabole	33
II.8- Les composants d'un concentrateur cylindro-parabolique.....	34
II.8.1- Réflecteur.....	34
II.8.1.A- L'Optique Parabolique et Sphérique.....	36
II.8.2- Le récepteur (absorbeur)	39
II.8.2.A. Dimension du récepteur.....	39
II.8.3- Support.....	41
II.8.4- Le système de poursuite.....	41
II.8.5- Le fluide caloporteur	41
II.8.6- Le miroir	42
II.9- La concentration	42

II.9.1- Concentration géométrique	42
II.9.2- Concentration optique (énergétique).....	42
II.9.3- La surface du concentrateur.....	44
II.9.4- Le rendement optique.....	44
II.9.5 - L'importance de la concentration solaire.....	45
II.10- Conclusion.....	45

Chapitre III : Réalisation d'un concentrateur cylindro-parabolique

III.1- Introduction.....	47
III.2- Description et réalisation des composants du prototype	47
III.3- Les étapes de réalisation du concentrateur cylindro-parabolique	48
III.3.1- Réflecteur :	48
III.3.2- le récepteur	50
III.3.3- Le support.....	50
III.3.4- Le système de poursuite.....	51
III.3.5- Le miroir	52
III.4- Les instruments de mesures	52
III.4.1- Les pointeurs solaires	52
III.4.2- Pyranomètres	53
III.4.3- Capteurs de durée d'ensoleillement.....	53
III.4.4- Pyrhéliomètre	53
III.4.5- Les instruments des mesures de température	53
III.5- conclusion.....	54

Chapitre VI : Résultat et Discussion

IV.1- Introduction.....	56
IV.2- L'expérience (teste de concentrateur cylindro- parabolique réalisé).....	56
IV.3- Installation du concentrateur cylindro-parabolique solaire.....	56
IV.4- Réglage du concentrateur cylindro-parabolique solaire.....	56
IV.5- L'emplacement des thermocouples	56
IV.6- les mesures	57

IV.7-Chauffage continue du concentrateur cylindro-parabolique solaire :.....	58
IV.8 - Evolution de la vitesse du vent :.....	59
IV.9- Problèmes rencontrés	61
IV.10-Conclusion et perspectives	61

Liste des figures I

Figure	Titre	Page
I.1	Variation saisonnière du rayonnement solaire	8
I.2	La sphère céleste	9
I.3	Les coordonnées géographiques	10
I.4	La déclinaison du soleil en fonction des jours	10
I.5	les coordonnées horaires	11
I.6	Les coordonnées horizontales	11
I.7	Le rayonnement extraterrestre en fonction des jours	13
I.8	Composantes du rayonnement global sur une surface inclinée	17
I.9	Eclairement journalier absorbé par le capteur pour différentes inclinaisons (β)	18
I.10	les différentes zones énergétiques de l'Algérie	19

Liste des figures II

II.1	Capteur plan	22
II.2	Capteurs tubulaires (capteurs sous vide)	23
II.3	Capteurs solaires à concentrations	24
II.4	système de centrale à tour	25
II.5	Concentrateur parabolique	25
II.6	Concentrateur cylindro-parabolique	26
II.7	Capteur Cylindro- Parabolique	27
II.8	Système optique d'une surface cylindro-parabolique	27
II.9	Montage d'un capteur cylindro- parabolique	28
II.10	La géométrie parabolique	30
II.11	Section d'une parabole possédant un foyer commun F Et le même diamètre d'ouverture d	32
II.12	Paraboloïde de révolution.	34
II.13	Elément différentiel de surface parabolique	35
II.14	Définition de plan de courbure	37
II.15	Définition de (a) cercle et (b) parabola	38
II.16	Définition de l'angle Rim	39
II.17	L'image ellipse	40
II.18	Catégories des récepteurs	41
II.19	Concentration géométrique à différentes valeurs du diamètre du récepteur (d_2)	43
II.20	Concentrateur cylindro-parabolique de forme ovale.	44

Liste des figures III

III.1	Coupage d'une assiette métallique de parabole du diamètre ($D = 980$ mm)	48
III.2	(a) et (b) réalisation des gabarits pour les utiliser comme guide de rendre la tôle métallique en forme cylindro parabolique.	48
III.3	(a) et (b) traitement de la tôle métallique de (920×980) pour que sera en forme cylindro parabolique et l'assembler avec l'assiette métallique de parabole.	49
III.5	Bras du support démontable et orientable pour le récepteur (b).	50
III.6	Le support de concentrateur	50
III.7	Réflecteur et support du tube récepteur	51
III.8	Le système de poursuite	51
III.9	(a) et (b) collage d'une mosaïque de petit miroir (2×2 cm) et (2×100 cm).	52
III.10	pointeur solaire	52

III.11	pyranomètre	53
III.12	Radiomètre	53
III.13	pyrhéliomètre	54
III.14	Instruments des mesures de Temp.	54
Liste des figures IV		
IV.1	Tube récepteur du concentrateur et les positions des thermocouples.	56
IV.2	Les instruments de mesure utilisés sont représentés sur l'image au-dessus.	57
IV.3	Evolution de la vitesse du vent et de la température de la surface du récepteur du concentrateur en fonction du temps durant la journée du : 21/05/2016.	59
IV.4	Graphiques météorologiques quotidiens durant la journée du : 21/05/2016	60

NOMENCLATURE

Symbole	Designation	Unite
H_0	Le rayonnement extraterrestre	[W/ m ²]
N	Nombre du jour dans l'année	
G	Constante solaire	[W/ m ²]
Δ	<i>Hauteur angulaire du soleil</i>	[degré]
K_t	coefficient de transmission	
\overline{H}	Rayonnement solaire moyen, mensuel mesuré sur une surface horizontale	[W/ m ²]
\overline{H}_d	Rayonnement moyen, mensuel diffus sur une surface horizontale	[W/ m ²]
r_t	Rapport entre les valeurs horaires et journalières de l'irradiation globale	
r_d	Rapport entre les valeurs horaires et journalières de l'irradiation diffuse	
H	Rayonnement global instantané sur une surface horizontale	[W/ m ²]
H_d	Rayonnement diffus instantané sur une surface horizontale	[W/ m ²]
H_b	Rayonnement direct instantané sur une surface horizontale	[W/ m ²]
H_t	Rayonnement instantané sur une surface inclinée	[W/ m ²]
β	Inclinaison du concentrateur solaire	[degré]
R_b	Rapport du rayonnement direct journalier sur surface inclinée	[W/ m ²]
$\overline{H_0}$	Rayonnement solaire moyen, mensuel hors de l'atmosphère.	[W/ m ²]
F_p	Facteur d'angle plan incliné-ciel	
H_r	Flux reçu par une surface inclinée provenant de la réflexion sur le sol	[W/ m ²]
F_r	Facteur d'inclinaison du rayonnement réfléchi	
H_{hi}	Flux direct sur une surface inclinée	[W/ m ²]
H_{di}	Flux diffus sur une surface inclinée	[W/ m ²]
θ	Angle d'incidence	[degré]
θ_z	Angle de zénith	[degré]
f	Distance focale	[m]
p	Rayon parabolique	[m]
ψ	Angle mesure a partir de la ligne (VF) et le rayon parabolique (P)	[degré]
ψ_p	Angle d'ouverture de la parabole	[degré]

h	Taille de parabole	[m]
A_x	Surface de parabole	[m ²]
S	Longueur de parabole	[m]
A_s	Surface du paraboloïde	[m ²]
A_a	Surface d'ouverture du paraboloïde	[m ²]
r_f	Diamètre de l'image circulaire	[m]
C_g	Concentration géométrique	
C_o	Concentration optique	
θ_s	Diamètre apparent de disque solaire	rad
d_2	Diamètre d'ouverture du récepteur	[m]
A_r	La surface de l'ouverture du récepteur	[m ²]
I_r	l'énergie reçue à l'ouverture du récepteur	[W/ m ²]
I_a	l'énergie reçue à l'ouverture d'un paraboloïde	[W/ m ²]
C	La concentration d'un concentrateur	
c_{max}	La concentration maximum	

Lettres grecques

δ	: Déclinaison solaire	[degré]
λ	: Longitude	[degré]
ϕ	: Latitude	[degré]
χ	: Altitude	[degré]
ω_s	: Angle horaire de couché du soleil	[degré]
ω	: Angle horaire	[degré]

ρ_s : Coefficient de réflexion diffus du sol.

Introduction générale

Le début de l'exploitation de l'énergie par l'homme est très ancien. L'homme préhistorique utilisait le feu, et l'énergie solaire pour faire, par exemple, sécher leur poisson. Dès 5000 av. J.C. les bateaux naviguaient le long du Nil par les voiles, les Chinois en 200 av. J.C., utilisent des moulins à vent pour le pompage de l'eau, en Perse et au Moyen-Orient les moulins à axe vertical avec des voiles tissés de roseaux ont été utilisés pour moulinier le grain.

L'énergie éolienne, la bioénergie, l'énergie des océans et de l'énergie hydroélectrique sont dérivées du soleil qui est la principale source de toutes les énergies alternatives sur la surface de terre. Cependant, l'énergie solaire c'est le terme qui se réfère à l'énergie qui est produite directement du Soleil en utilisant des cellules solaires, des concentrateurs solaires, etc. bien que l'énergie solaire est abondante sur la surface de la terre, la production d'énergie utile est difficile et souvent coûteux.

Parmi toutes les sources d'énergie alternatives, L'énergie solaire peut être utilisée pour la production d'électricité directe lors de l'utilisation de la photovoltaïque, ou comme une source d'énergie thermique lors de l'utilisation de concentrateurs solaires. [39]

Le soleil "rayonne" à la Terre chaque année 40 000 fois les besoins énergétiques que l'humanité consomme sous forme d'énergies fossiles.

Il existe 3 utilisations de l'énergie solaire:

1 - la production d'électricité : le "solaire photovoltaïque"

2 - la production d'un mouvement : le "solaire mécanique."

3 - la production de chaleur : le "solaire thermique"

Parmi les énergies renouvelables, l'énergie solaire avec ses propriétés de non-épuisement, occupe une place de premier plan dans la recherche scientifique actuelle pour les pays du sud comme l'Algérie.

Le réflecteur solaire " concentrateur cylindro parabolique solaire dans notre cas " récupère la chaleur du soleil "énergie solaire" grâce à un récepteur qui la transforme comme énergie thermique pour Les différentes utilisations.

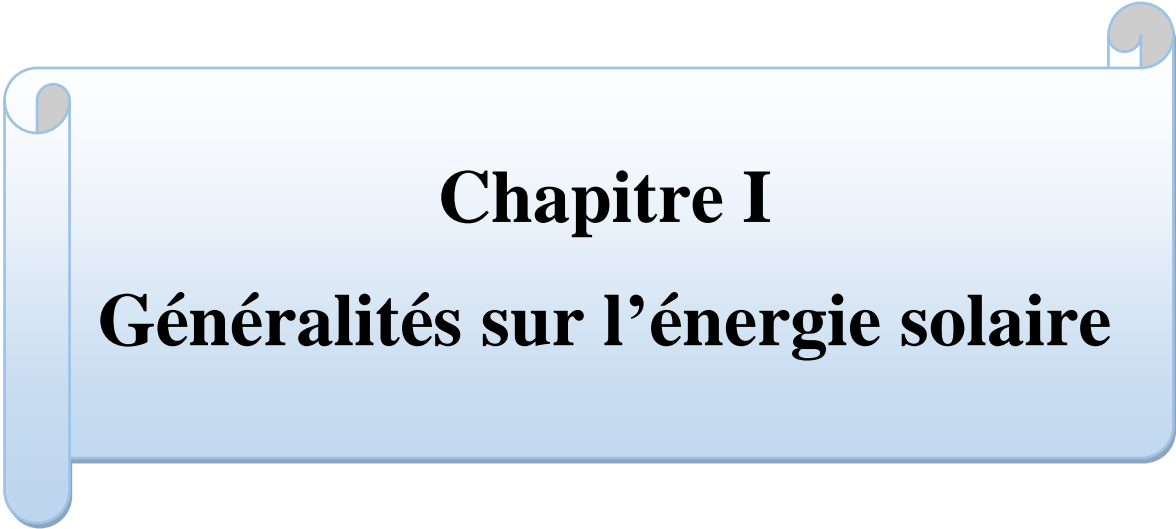
Notre travail se compose de quatre chapitres :

Le premier chapitre est une généralité sur l'énergie solaire, les énergies renouvelables, le soleil, le mouvement de la terre et le rayonnement solaire.

Le deuxième chapitre est consacré à une étude théorique détaillée d'un concentrateur cylindro-parabolique « d'une forme ovale ».

Le troisième chapitre est réservé à la conception et la réalisation d'un concentrateur cylindro-parabolique solaire ovale.

Le quatrième chapitre c'est pour le teste et les résultats et les discussions.



Chapitre I
Généralités sur l'énergie solaire

I.1- Introduction

La ressource de base la plus importante pour tous les potentiels énergétiques renouvelables est l'énergie solaire, c'est le rayonnement émis dans toutes les directions par le soleil, et que la terre reçoit à raison d'une puissance moyenne de $1,4 \text{ kW/m}^2$ [1], pour une surface perpendiculaire à la direction terre-soleil. Ce flux solaire est atténué lors de la traversée de l'atmosphère par absorption ou diffusion, suivant les conditions météorologiques et la latitude du lieu au niveau du sol.

L'énergie solaire est donc à l'origine de toutes les énergies sur terre à l'exception de l'énergie nucléaire, de la géothermie et de l'énergie marémotrice.

L'homme utilise l'énergie solaire pour la transformer en d'autres formes d'énergie : énergie alimentaire, énergie cinétique, énergie thermique, énergie électrique ou énergie de la biomasse. Par extension, l'expression « énergie solaire » est souvent employée pour désigner l'énergie électrique et l'énergie thermique obtenue à partir de cette dernière.

Afin d'exploiter au mieux cette ressource énergétique et pour un bon dimensionnement des installations solaires, il est nécessaire de connaître la quantité de l'énergie solaire disponible à un endroit spécifique à chaque instant de la journée et de l'année.

Pour cette raison, on a jugé nécessaire de présenter dans ce chapitre une notion générale sur l'énergie solaire et surtout sur les coordonnées célestes ainsi que le rayonnement solaire...

I.2- Les énergies renouvelables

Les énergies renouvelables sont fournies par le soleil, le vent, la chaleur de la terre, les chutes d'eau, les marées ou encore la croissance des végétaux, les énergies renouvelables n'engendrent pas ou peu de déchets ou d'émissions polluantes. Elles participent à la lutte contre l'effet de serre et les rejets de CO_2 dans l'atmosphère. Le solaire (photovoltaïque, ou thermique), l'hydroélectricité, l'éolien, la biomasse, la géothermie ont des énergies à flux inépuisable par rapport aux combustibles fossiles.

I.2.1.L'éolien (le vent)

L'énergie éolienne est dispersée, incontrôlable et aléatoire, une fois captée, elle est propre, inépuisable et gratuite [2].

A partir du vent, on peut fabriquer de l'électricité, ce qui permet de mettre en œuvre des sources autonomes de courant.

La technologie des machines mues par le vent a été développée dans trois axes :

- Les grands aérogénérateurs de 100 à 1000 KW, susceptibles d'être couplés avec une distribution d'électricité.
- Les éoliennes de pompage.
- Les petits aérogénérateurs à deux ou trois pales, dont la puissance fournie varie de 25 à 4000 W.

I.2.2.La biomasse

La conversion de l'énergie solaire par les plantes grâce à la photosynthèse regroupe l'absorption du rayonnement solaire, sa transformation en énergie et le stockage de celle-ci sous forme de matière organique (biomasse) [2].

Néanmoins le rendement de cette production est très bas, du fait que seule une fraction très faible de l'énergie solaire parvient aux ouillages.

Gaz carbonique + eau + soleil → matière organique + oxygène

I.2.3.La géothermie

La géothermie est la chaleur interne de la terre. A partir de la surface du sol de la planète, la température progresse d'environ 1°C, tous les trente mètres, à certains endroits, elle augmente encore plus rapidement [2].

Cette énergie souterraine peut assurer le chauffage de locaux, piscines et serres agricoles et la production d'eau chaude sanitaire.

I.2.4.L'hydraulique

En descendant du haut des collines et des montagnes, l'eau porte en elle une énergie formidable, gratuite et inépuisable. Au passé l'homme, a utilisé cette énergie pour faire tourner des moulins. Actuellement, de l'électricité est produite grâce à des centrales hydroélectriques.

I.2.5.L'énergie solaire

L'énergie solaire peut être exploitée sous deux formes principales : la conversion photothermique qui consiste en une transformation directe du rayonnement solaire en chaleur et la conversion photovoltaïque pour la production d'électricité.

I.3-L'énergie solaire

L'énergie solaire disponible au cours du trajet soleil/atmosphère extérieur de la terre est égale à 1400W/m^2 . Néanmoins une grande partie de ce rayonnement solaire est perdue par absorption dans les couches atmosphériques et par réflexion terrestre, il en résulte qu'au cours d'une journée ensoleillée, la quantité d'énergie solaire réellement disponible à la surface de la terre dans la direction du soleil n'est que de 1000W/m^2 , donc le rayonnement sous forme électromagnétique.

Il dépend principalement de l'emplacement géographique, de la position du soleil dans le ciel, des conditions météorologiques, de la technologie utilisée et de l'application (chauffage, refroidissement, production d'énergie électrique). L'énergie solaire n'émet aucun gaz à effet de serre, elle est disponible partout, gratuite, inépuisable, non polluante et facile à transformer. On utilise généralement la chaleur transmise par le rayonnement, plutôt que le rayonnement lui-même.

La technologie qui nous permet l'exploitation de l'énergie solaire utilise des systèmes appelés capteurs solaires (sans ou avec concentration), que nous présenterons succinctement dans ce qui suit.

I.3.1 - Constitution physique du soleil :

Le soleil est une sphère gazeuse composée d'Hydrogène (74 % de la masse ou 92,1 % du volume) et d'Hélium (24 % de la masse ou 7,8 % du volume). L'hydrogène se transforme en hélium par fusion nucléaire, chaque seconde 700×10^9 de kilogrammes d'hydrogène se transforme en 695.7×10^9 de kilogrammes d'hélium. La différence -4.3×10^9 de kilogrammes se transforment en énergie -38.7×10^{25} joules, c'est équivalent à 26×10^{12} de fois la consommation énergétique mondiale dans le même temps. Avec un diamètre de 1391000 km, le Soleil se trouve à une distance moyenne de 149 000 km par rapport à la terre. A cause de l'ellipticité de l'orbite terrestre, la distance minimale se situe vers le 15 janvier, et la maximal vers la fin juin [1].

Le Soleil n'est pas une sphère homogène, on peut y distinguer trois régions principales [1]

I.3.1.A-L'intérieur : où se crée l'énergie par réaction thermonucléaire et qui est inaccessible aux Investigations, car le rayonnement émis dans cette région est totalement absorbé par les couches extérieures. La température atteint plusieurs millions et la pression un milliard d'atmosphère.

I.3.1.B-La photosphère : l'épaisseur est d'environ 300 km qui est responsable de la presque totalité du rayonnement solaire que nous recevons.

I.3.1.C-Chromosphère et couronne solaire : où la matière est très diluée, fait qui explique que bien que la température y soit très élevée (1 million de degrés) le rayonnement émis est très faible.

I.4- Mouvement de la terre

La terre décrit autour du soleil une orbite elliptique quasi circulaire avec une période de 365,25 jours. Le plan de cette orbite est appelé plan de l'écliptique. C'est au solstice d'hiver (21décembre) que la terre est la plus proche du soleil, et au solstice d'été (22juin) qu'elle en est la plus éloignée [4].

La terre tourne sur elle-même avec une période de 24h. Son axe de rotation (l'axe des pôles) a une orientation fixe dans l'espace. Il fait un angle $\delta=23^{\circ}5'$ avec la normale au plan de l'écliptique.

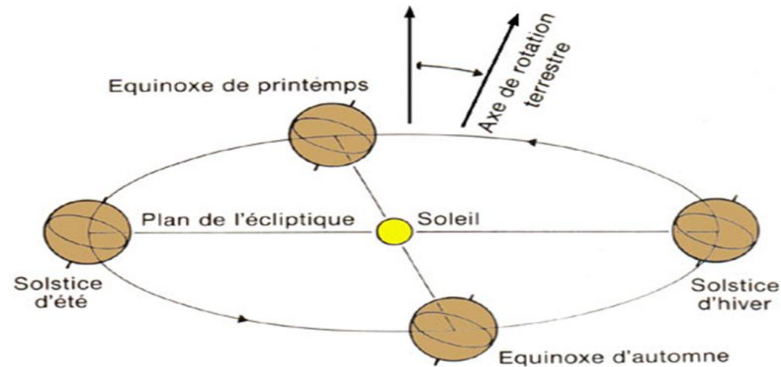


Figure I.1- Variation saisonnière du rayonnement solaire[5]

I.5- La sphère céleste

La sphère céleste est une sphère imaginaire d'un diamètre immense, avec la terre au centre. On considère que tous les objets visibles dans le ciel se trouvent sur la surface de la sphère céleste. On peut résumer les différentes caractéristiques sur la sphère elle-même comme est représenté sur la figure (I-2)

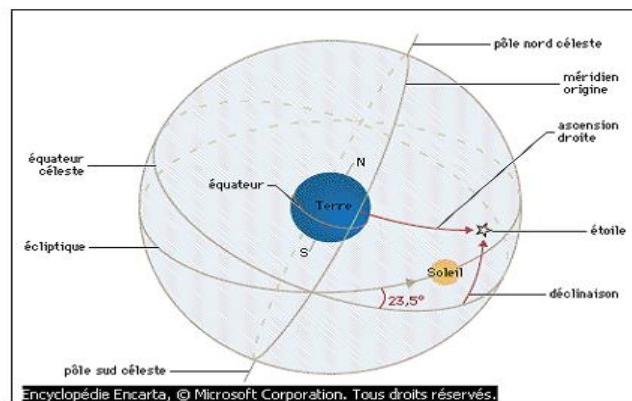


Figure I.2- La sphère céleste [7]

La direction des objets peut être quantifiée de façon précise à l'aide d'un système de coordonnées célestes.

I.6- Les coordonnées célestes

I.6.1- Les coordonnées géographiques

Ce sont les coordonnées angulaires qui permettent le repérage d'un point sur la terre

I.6.1.1- Longitude

La longitude d'un lieu λ correspond à l'angle que fait le plan méridien passant par ce lieu avec un plan méridien retenu comme origine. On a choisi pour méridien (origine 0°) le plan passant par l'observatoire de Greenwich. Par convention on affecte du signe (+) les méridiens situés à l'est de ce méridien, et du signe (-) les méridiens situés à l'ouest [1], [6].

I.6.1.2- Latitude

La latitude d'un lieu ϕ correspond à l'angle avec le plan équatorial, que fait le rayon joignant le centre de la terre à ce lieu. L'équateur terrestre est donc caractérisé par une latitude égale à 0° , le pôle nord par la latitude $+90^\circ$ et le pôle sud par la latitude -90° . Cette convention de signe affecte le signe (+) à tous les lieux de l'hémisphère nord et le signe (-) à tous les lieux de l'hémisphère sud [1], [4].

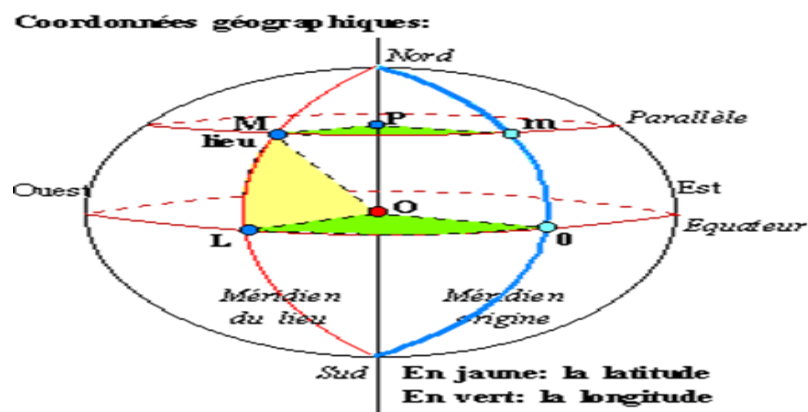


Figure I.3- Les coordonnées géographiques [8]

I.6.2- Les coordonnées horaires

I.6.2.1- La déclinaison solaire

C'est l'angle formé par la direction du soleil et le plan équatorial terrestre. Elle varie tout

au long de l'année, entre deux valeurs extrêmes : $(-23^{\circ}45'$ et $+23^{\circ}45'$ environ) et elle s'annule aux équinoxes de printemps et d'automne, sa valeur peut être calculée par la formule [1], [9] :

$$\delta = 23.45 \sin(360 \cdot (284 + N)/365)(I - 1)$$

N : Numéro du jour dans l'année

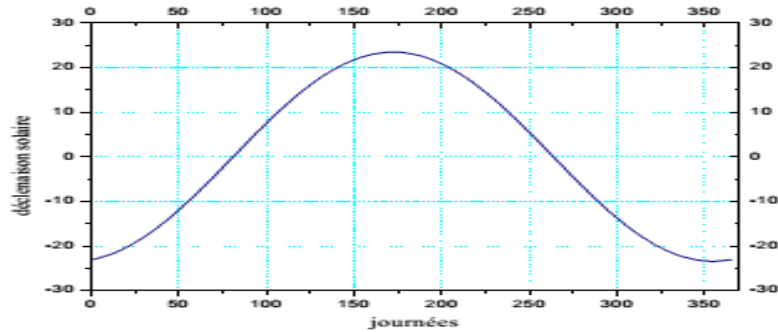


Figure I.4- La déclinaison du soleil en fonction des jours

I.6.2.2- Angle horaire (ω)

L'angle horaire du soleil est l'angle formé par le plan méridien du lieu et celui qui passe par la direction du soleil si l'on prend comme origine le méridien de Greenwich, l'angle horaire est compris entre 0° et 360° . La valeur de l'angle horaire est nulle à midi solaire, négative le matin, positive dans l'après-midi et augmente de 15° par heure, [1], [4].

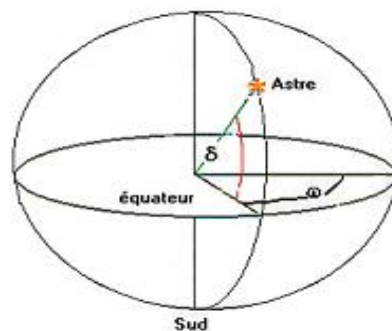


Figure I. 5- les coordonnées horaires

I.6.3- Les coordonnées horizontales

Le repérage du soleil se fait par l'intermédiaire de **deux angles** :

I.6.3.1- Hauteur angulaire du soleil (Δ) : C'est l'angle formé par le plan horizontal au lieu d'observation et la direction du soleil. Cette hauteur durant le jour peut varier de 0 (soleil à l'horizon) à 90 (soleil au zénith) [1], [4].

I.6.3.2- Azimut : C'est l'angle compris entre le méridien du lieu et le plan vertical passant par le soleil. La connaissance de l'azimut du soleil est indispensable pour le calcul de l'angle d'incidence des rayons sur une surface non horizontale [1].

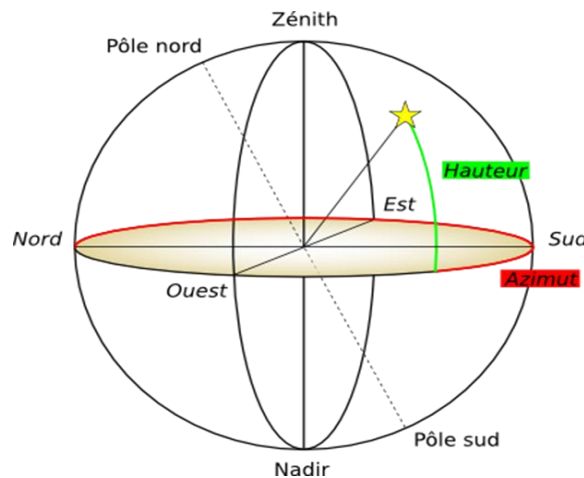


Figure I.6- Les coordonnées horizontales [10]

I.6.4- Angle horaire de couché du soleil

L'angle horaire du soleil est le déplacement angulaire du soleil autour de l'axe polaire. Dans sa course d'est en ouest, par rapport au méridien local. Il est donné par l'équation suivante [4], [9] :

$$\omega_s = \arccos(-\tan(\phi) \tan(\delta)) \quad (I-2)$$

δ : Déclinaison solaire

ϕ : La latitude

13I.7- Le rayonnement solaire

Le rayonnement solaire est un rayonnement thermique qui se propage sous la forme d'ondes électromagnétiques. En dehors de l'atmosphère terrestre, il donne un éclairement énergétique à peu près constant et égale à 1367 w/m^2 , appelé de ce fait constante solaire [1].

I.7.1- Types de rayonnements :

I.7.1.1- Rayonnement direct :

Le rayonnement solaire direct se définit comme étant le rayonnement provenant du seul disque solaire. Il est donc nul lorsque le soleil est occulté par les nuages [11].

I.7.1.2 - Rayonnement diffus :

Dans sa traversée de l'atmosphère, le rayonnement solaire est diffusé par les molécules de l'air et les particules en suspension. Le rayonnement solaire diffus n'est donc nul que la nuit [1], [4].

I.7.1.3- Rayonnement global :

C'est la somme des deux types de rayonnements direct et diffus.

I.8- Estimation du rayonnement solaire :

Dans notre travail de l'étude et la réalisation pour le calcul du rayonnement solaire instantané nous considérons :

- une semaine totalement couverte durant les mois d'avril et de mai.
- une journée totalement couverte chaque mois.
- durant les journées couvertes, seul le rayonnement diffus existe, il est égal à 15% du rayonnement d'une journée totalement dégagée.

I.8.1- Rayonnement extraterrestre :

Le rayonnement extraterrestre est le rayonnement solaire en dehors de l'atmosphère. Pour un point donné, Il est formulé comme suit [9], [12] :

$$H_0 = \frac{86400G}{\pi} \left(1 + 0.033 \cos \left(2\pi \frac{N}{365} \right) \right) (\cos \phi \cos \delta \sin \omega_s + \omega_s \sin \phi \sin \delta) \quad (I-3)$$

N : Numéro du jour dans l'année.

G : Constante solaire. ($G = 1367$) (w/m^2)

δ : La déclinaison solaire

ϕ : La latitude

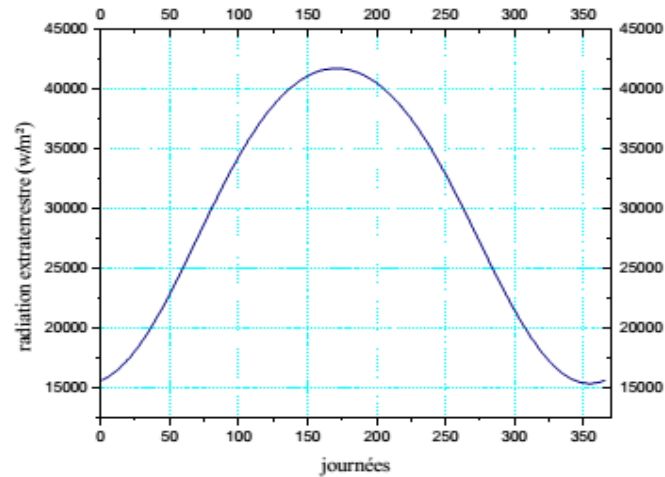


Figure I.7- Le rayonnement extraterrestre en fonction des jours

I.8.2- Coefficient de clarté :

Avant d'atteindre le sol, le *rayonnement* solaire est atténué par l'atmosphère et les nuages. Le rapport entre le rayonnement au sol et le rayonnement extraterrestre est appelé coefficient de transmission, il est définie par [1], [12] :

$$\overline{K_t} = \frac{\overline{H}}{\overline{H_0}} \quad (\text{I-4})$$

\overline{H} : Rayonnement solaire moyen, mensuel mesuré sur une surface horizontale.

$\overline{H_0}$: Rayonnement solaire moyen, mensuel hors de l'atmosphère.

I.8.3- Estimation du rayonnement solaire instantané sur une surface horizontale :

I.8.3.1- Relations entre les moyennes mensuelles :

L'analyse des mesures de $\overline{H_d}$ et $\overline{H_p}$ par Liu et Jordan [11] a montré l'existence d'une liaison entre ces deux termes et un paramètre météorologique appelé coefficient de transmission [13], [9].

Le rayonnement moyen, mensuel diffus sur une surface horizontale est défini par :

$$\frac{\overline{H_d}}{\overline{H}} = 1.391 - 3.560 \overline{K_t} - 1.189 \overline{K_t^2} - 2.137 \overline{K_t^3} \omega_s < 81.4^\circ \text{ (I- 5)}$$

$$\frac{\overline{H_d}}{\overline{H}} = 1.311 - 3.022 \overline{K_t} - 3.427 \overline{K_t^2} - 1.821 \overline{K_t^3} \omega_s > 81.4^\circ$$

$\overline{H_d}$: Rayonnement moyen, mensuel diffus sur une surface horizontale

\overline{H} : Rayonnement moyen, mensuel sur une surface horizontale

I.8.3.2- Relation entre les valeurs horaires :

Dans certaines applications, il est nécessaire de connaître les flux instantanés ou les irradiances pendant des durées courtes. Cela est réalisé grâce aux formules de Collares-Pereira et Rabl pour le rayonnement global [1], [9], [12] :

$$r_t = \frac{\pi}{24} (a + b \cos \omega) \frac{\cos \omega - \cos \omega_s}{\sin \omega_s - \omega_s \cos \omega_s} \text{ (I - 6)}$$

$$\text{Où } a = 0.409 + 0.501 \sin \left(\omega_s - \frac{\pi}{3} \right)$$

$$\text{Et } b = 0.6609 - 0.4767 \sin \left(\omega_s - \frac{\pi}{3} \right)$$

r_t : Rapport entre les valeurs horaires et journalières de l'irradiation globale

ω : Angle horaire du soleil, peut être calculé en fonction de l'heure solaire t_s [4], [9]

$$\omega = 15(t_s - 12) \text{ (I - 7)}$$

ω_s : Angle horaire de couche du soleil

$$r_d = \frac{\pi}{24} \frac{\cos \omega - \cos \omega_s}{\sin \omega_s - \omega_s \cos \omega_s} \text{ (I - 8)}$$

r_d : Rapport entre les valeurs horaires et journalières de l'irradiation diffuse [11], [12]

$$H = r_t \overline{H} \text{ (I-9)}$$

H : Rayonnement global instantané sur une surface horizontale [11], [12]

$$H_d = r_d \overline{H_d} \text{ (I-10)}$$

H_d : Rayonnement diffus instantané sur une surface horizontale [11], [12]

$$H_b = H - H_d \quad (\text{I - 11})$$

H_b : Rayonnement direct instantané sur une surface horizontale

I.8.4- Estimation du rayonnement solaire instantané sur une surface inclinée :

Dans la majorité des cas d'application, il est nécessaire de calculer le flux solaire sur des plans d'orientation quelconque.

Pour estimer l'énergie reçue par une surface inclinée à partir de données concernant une surface horizontale, il faut séparer la composante directe et la composante diffuse.

I.8.4.1- Rayonnement direct sur une surface inclinée :

Connaissant le flux direct sur une surface horizontale H_b , le flux direct sur une surface

Incliné H_{bi} est donné par la formule suivante [1], [11] :

$$H_{bi} = R_b H_b \quad (\text{I - 12})$$

H_{bi} : Flux direct sur une surface inclinée.

R_b : Rapport du rayonnement direct journalier sur surface inclinée à celui sur une surface horizontale, il est donné par l'expression suivante [4], [11], [12] :

$$R_b = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} \quad (\text{I - 13})$$

θ : Angle d'incidence du rayonnement direct sur le concentrateur cylindro-parabolique solaire.
(Chapitre 2)

θ_z : Angle de zénith.

I.8.4.2- Rayonnement diffus sur une surface inclinée :

En admettant que le flux diffus est isotrope, c'est-à-dire uniformément réparti sur la voûte céleste, la valeur du rayonnement diffus est donnée par :

$$H_{di} = H_d F_p \quad (I-14)$$

H_{di} : Flux diffus sur une surface inclinée.

F_p : Facteur d'angle plan incliné-ciel, il est donné par [4], [11]

$$F_p = \frac{1}{2} (1 + \cos \beta) \quad (I-15)$$

$$H_{di} = \frac{H_d}{2} (1 + \cos \beta) \quad (I-16)$$

I.8.4.3 - Rayonnement provenant de la réflexion :

De même, le flux réfléchi par le sol est isotrope, on a :

$$H_r = H_{\rho_s} F_r \quad (I-17)$$

ρ_s : représente le coefficient de réflexion de la lumière diffuse du sol (aussi appelé albédo du sol, valeur fixée à 0,35 [4], [11]).

$$F_r = \frac{1}{2} (1 - \cos \beta) \quad (I-18)$$

F_r : Facteur d'inclinaison du rayonnement réfléchi.

L'équation (I-17) devient [1], [4] :

$$H_r = H_{\rho_s} \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \quad (I-19)$$

H_r : Flux reçu par une surface inclinée provenant de la réflexion sur le sol.

I.8.4.4 - Rayonnement global sur surface inclinée :

Connaissant les trois composantes des flux et irradiations, on a finalement [12] :

$$H_t = H_{di} + H_{bi} + H_r \quad (I-20)$$

$$H_t = H_b R_b + H_d \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + H_{\rho_s} \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \quad (I-21)$$

H_t : Rayonnement instantané sur une surface inclinée.

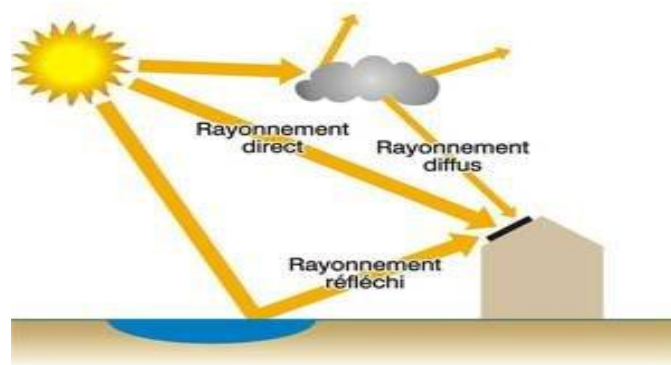


Figure I.8- Composantes du rayonnement global sur une surface inclinée [14]

I.9- l'effet de l'orientation d'une surface sur l'énergie incidente

La méthode que nous venons de décrire permet d'estimer l'effet de l'inclinaison d'une surface plane sur l'énergie qu'elle reçoit [15].

La figure (I-9) représente la variation de l'irradiation au cours de l'année de la moyenne mensuelle de l'irradiation journalière, H_t pour une surface orienté vers le sud ($\gamma = 0$) et pour diverses valeurs de l'inclinaison ($0 \leq \beta \leq 90^\circ$) en un lieu situé à 33° de latitude ($\phi = 33^\circ$).

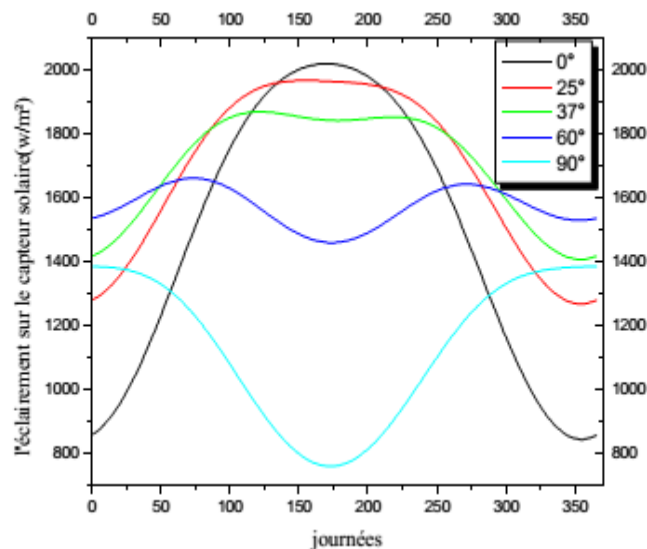


Figure I.9- Éclairement journalier absorbé par le capteur pour différentes inclinaisons (bêta)

On peut vérifier que l'énergie totale reçue pendant l'année est maximale pour $\beta = \phi$.

I.10- Rayonnement en Algérie

L'Algérie possédant un gisement solaire important, et la puissance solaire maximale en tout point de notre pays est d'environ 1Kw/m^2 .

L'énergie journalière maximale moyenne (ciel clair, mois de juillet) dépasse les 6Kw/m^2

Et L'énergie annuelle maximale en Algérie est de l'ordre de 2500KW/m^2 [15].

La figure. (I .10) représente les différentes zones énergétiques de l'Algérie.

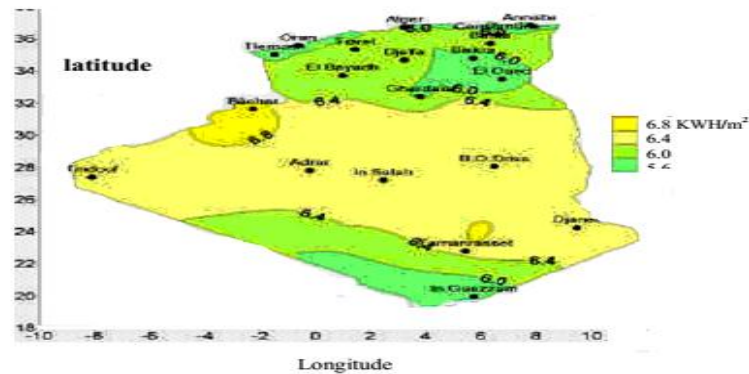


Figure (I. 10) les différentes zones énergétiques de l'Algérie.

I.11- Conclusion

L'épuisement des énergies fossiles, le manque de solutions satisfaisantes à la gestion des déchets nucléaires et les risques liés à cette source d'énergie, ainsi que la limitation des émissions des gaz à effet de serre ont suscités un engouement aux énergies renouvelables et en particulier à l'énergie solaire.

L'étude du rayonnement solaire s'avère nécessaire pour le choix du meilleur site en vue d'une installation d'un système de captation solaire. Le rayonnement reçu par un capteur solaire dépend également du niveau d'ensoleillement du site considéré et de son orientation par rapport au soleil.

La position du soleil dans le ciel dépend du temps solaire, du numéro du jour et de l'année, elle est exprimée par différents angles.

Un capteur solaire fixe reçoit le maximum d'énergie lorsqu'il est orienté vers le sud et est incliné selon un angle pratiquement égal à la latitude du lieu [15]. Par exemple les capteurs installés à El-oued sont inclinés de 33° .

Chapitre II

Etude théorique d' un concentrateur cylindro parabolique

II.1- Introduction

Le principe de la concentration d'énergie est important car il rend la vie beaucoup plus facile. On dispose en effet avec le soleil d'une énorme quantité d'énergie potentiellement utilisable et, une fois concentrée, une masse d'énergie est bien plus simple à stocker, transformer et déplacer. Même s'il y a des exceptions, un accès à de très fortes concentrations d'énergie permet dans la plupart des cas de faire à peu près ce qu'on veut avec un minimum de puissance. [16]

De ce fait des capteurs solaires à concentration sont appliqués, l'énergie solaire arrive sur une grande surface réfléchissante et réfléchi sur une plus petite surface avant qu'elle ne soit transformée en chaleur ce qui inciterait des températures plus augmentée. La majorité des collecteurs à concentration peuvent concentrer que le rayonnement solaire parallèle venant directement à partir du disque du soleil (Rayonnement direct)

Nous traiterons dans le cadre de ce travail seulement la conversion photothermique qui consiste en une transformation directe du rayonnement solaire en chaleur.

II.2- Les collecteurs thermiques

Le fonctionnement de ces systèmes repose sur l'effet de serre, qui réside dans le fait qu'un matériau peut être transparent pour le rayonnement solaire et opaque au rayonnement infrarouge [2].

La conversion photothermique se fait à l'aide de collecteurs thermiques qui consistent en une transformation directe du rayonnement solaire en chaleur, comme le chauffage domestique, les cuisines solaires, la chaleur pour des processus industriels. Elle se fait selon deux manières : une captation **avec concentration** et **sans concentration**.

II.2.1- Captation sans concentration : capteurs solaires thermiques

Ce sont des dispositifs conçus pour recueillir l'énergie provenant du soleil et la transmettre à un fluide caloporteur.

Il existe différents types de capteurs solaires thermiques selon la géométrie, la nature du fluide caloporteur utilisé et le niveau de température qu'ils permettent d'atteindre.

On distingue **deux types** de capteurs solaires thermiques :

- ✓ Les capteurs solaires thermiques plans simples
- ✓ Les capteurs tubulaires (capteurs sous vide)

II.2.1.1. Capteurs solaires thermiques plans

Le rayonnement solaire peut être transformé en chaleur à basse température, par des capteurs plans utilisant conjointement l'absorbeur, surface sélective et l'effet de serre créé par le vitrage. Ces capteurs ont l'avantage d'utiliser aussi bien les rayons directs du soleil que les rayons diffusés, c'est à dire que même par temps couvert, le liquide caloporteur de capteur parvient à s'échauffer. L'autre avantage est qu'il n'est pas nécessaire d'orienter le capteur suivant le soleil, figure II.1

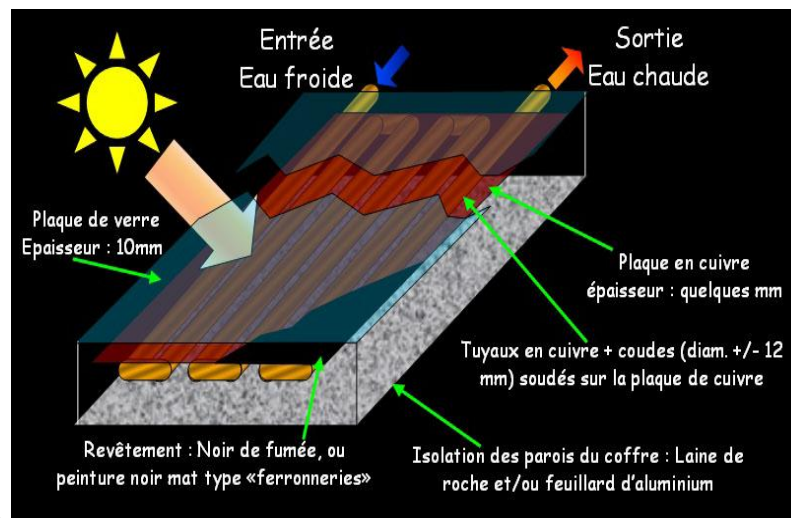


Figure II.1- Capteur plan

Les capteurs plans ont de nombreux avantages, dont une technologie simple et un coût relativement bas. De plus, certains ont un rendement supérieur aux capteurs tubulaires, résultant du fait que les rayons solaires atteignent plus facilement l'absorbeur.

On distingue principalement **deux catégories** de capteurs plans :

- ✓ Les capteurs plans à caloporteur **liquide**
- ✓ Les capteurs plans à caloporteur **gazeux**

II.2.1.2. Les capteurs tubulaires (capteurs sous vide)

Ils sont constitués de tubes transparents généralement en verre, comportant un espace vide d'air entre la paroi extérieure de chaque tube et son absorbeur.

Le vide étant un isolant presque parfait, les déperditions thermiques convectives de l'absorbeur sont ainsi quasiment éliminées. De plus, la forme tubulaire permet de réaliser un vide d'air, conduisant à une meilleure résistance à la pression atmosphérique qu'un vitrage de forme plane figure II.2

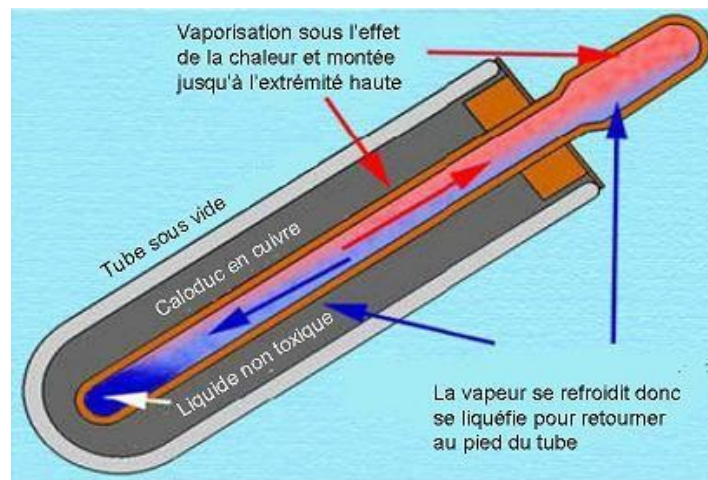


Figure II.2- Capteurs tubulaires (capteurs sous vide)

On distingue principalement **quatre familles** de capteurs sous vide, et chacune dépend d'une technique spécifique on peut citer :

- ✓ Capteur solaire sous vide à circulation directe
- ✓ Capteur à tube sous vide à « caloduc »
- ✓ Capteur à tube sous vide à effet « thermos »
- ✓ Capteur à tube sous vide « Schott »

II.2.2- Captation avec concentration : capteurs à concentrations

C'est des capteurs solaires comportant un système optique (réflecteurs) destinés à concentrer sur l'absorbeur (circuit échangeur) le rayonnement solaire.

Ce type de capteur focalise le rayonnement solaire reçu sur l'absorbeur de manière à accroître l'intensité des rayons solaires et d'obtenir des températures élevées, entre **400 °C** et **3000 °C**. La chaleur solaire produit de la vapeur qui alimente généralement une turbine.

Quand les températures plus élevées sont exigées, des capteurs solaires à concentration sont utilisés. Ils utilisent l'énergie solaire arrivant sur une grande surface réfléchissante, et réfléchit sur une plus petite surface avant qu'elle ne soit convertie en chaleur qui entraînerait de températures plus élevées. La plupart des collecteurs à concentration peuvent seulement concentrer le rayonnement solaire parallèle venant directement à partir du disque du soleil (rayonnement direct), donc ils doivent suivre le mouvement apparent du soleil. On constate de manière évidente que leur utilisation restera très limitée (entre 1500 et 1700 heures d'ensoleillement par an en moyenne) [18].

Les trois systèmes à concentration les plus importants pour l'application à **grande échelle** de l'énergie solaire sont :

- Concentrateurs paraboliques
- Système de centrale à tour (héliostat)
- Concentrateurs cylindro-paraboliques

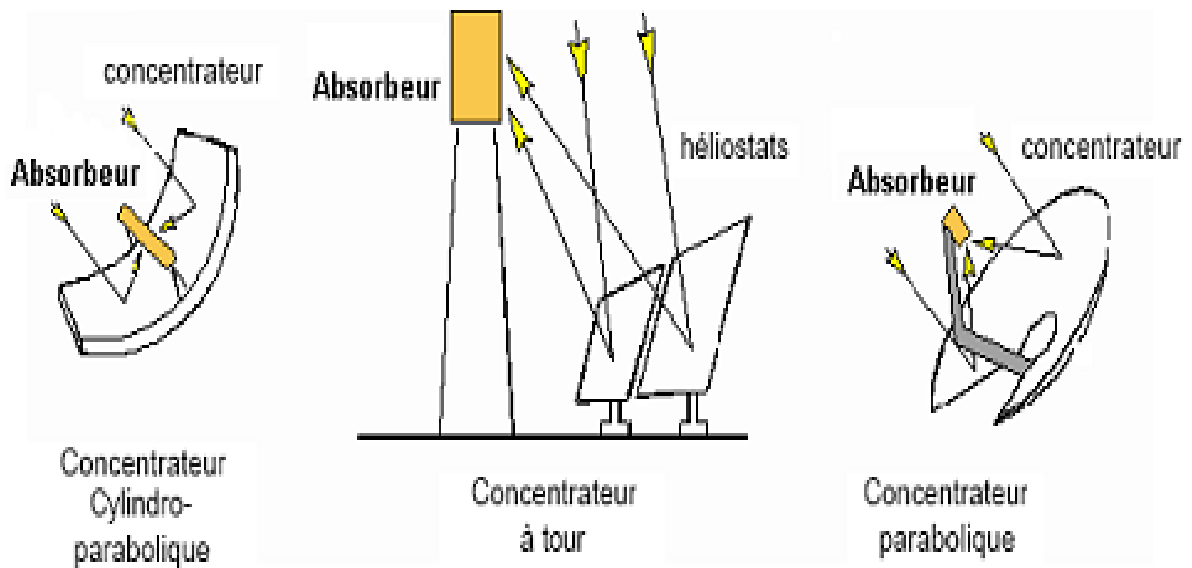


Figure II.3- Capteurs solaires à concentrations

II.2.2.1- Système de centrale à tour (héliostat)

Des milliers de miroirs (héliostats) suivent la course du soleil et concentrent son rayonnement sur un récepteur central placé au sommet d'une tour, (figure II.4). Cette filière permet de déployer des surfaces de miroirs très importantes. Des centaines ou milliers d'héliostats (miroirs plans de plusieurs dizaines de mètres carrés chacun), suivent le soleil et concentrent le rayonnement sur un récepteur central placé en haut d'une tour. Le soleil est concentré plus de **500 fois** et la température obtenue dépasse les **600 °C**. Différents fluides caloporteurs peuvent être utilisés (vapeur, sels fondus, air).

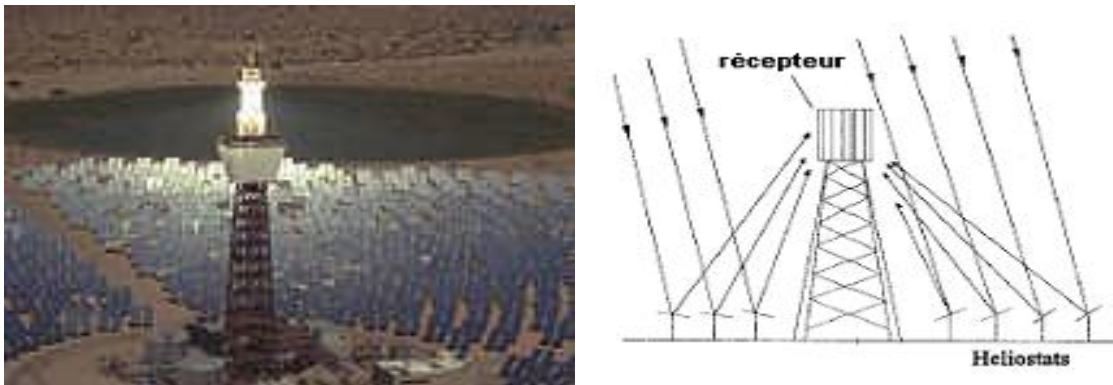


Figure II.4- système de centrale à tour

II.2.2.2- Concentrateurs paraboliques

Les rayons du soleil convergent vers un seul point, le foyer d'une parabole, (figure II.5). Le système doit être orienté à tout instant vers le soleil, ce qui implique une motorisation précise selon deux axes. Le facteur de concentration moyen dépasse le millier, ce qui permet de porter le fluide à très haute température, au-delà de **700 °C**.

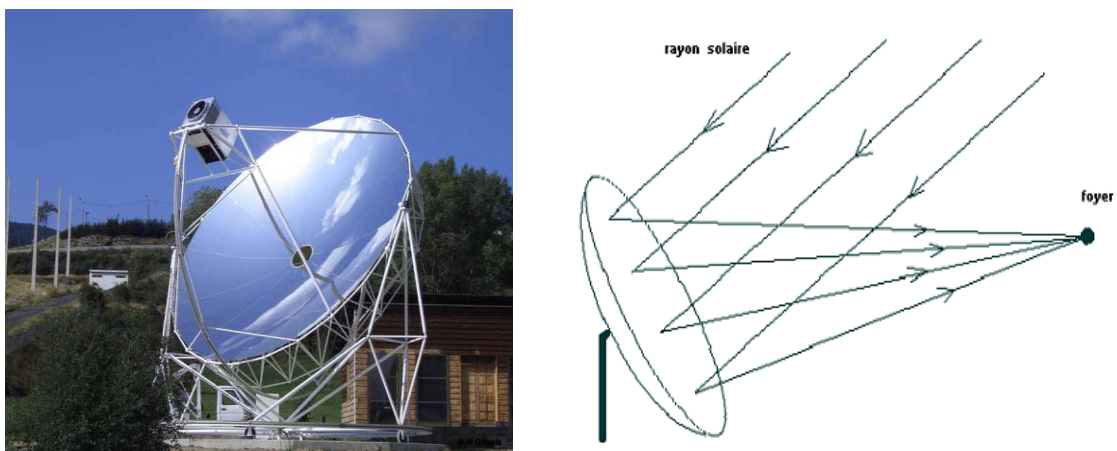


Figure II.5- Concentrateur parabolique

II.2.2.3- Concentrateurs cylindro-paraboliques

Des miroirs de section parabolique concentrent les rayons du soleil vers une ligne focale, (figure II.6). Le récepteur est un tube placé sur ce foyer linéaire dans lequel circule un fluide caloporteur. L'avantage de ces miroirs paraboliques est que le suivi du soleil est simplifié. En effet, il s'effectue sur un seul axe au lieu de deux pour les héliostats. Ces concentrateurs sont généralement orientés nord-sud et pivotent d'est en ouest pour suivre la course du soleil. La concentration est modeste, de **20 à 80 fois** le rayonnement, et les températures obtenues sont de l'ordre de **400 °C**.

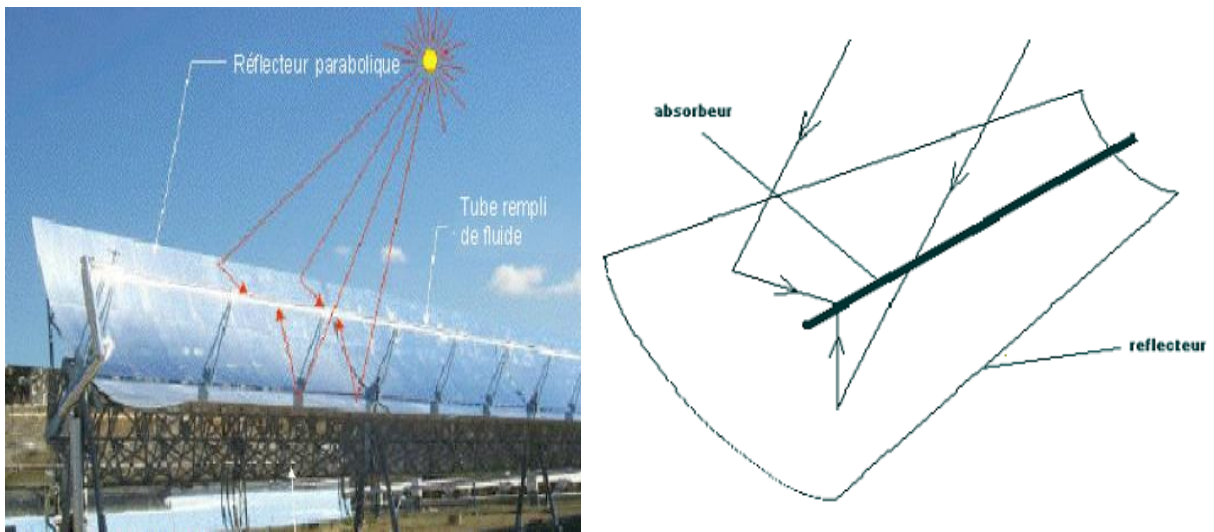


Figure II.6- Concentrateur cylindro-parabolique

On distingue **deux usages principaux** de cette technologie :

- La production **de chaleur** (thermique)
- La production **d'électricité** (thermodynamique)

Les concentrateurs optiques superposent en un même point les rayons solaires collectés sur une même surface de captage, le plus souvent formée de miroirs. Il existe différentes géométries de concentrateurs, ils sont dotés de dispositifs de suivi de la course du soleil, en hauteur.

II.2.2.3.A- Propriétés des concentrateurs cylindro- parabolique

Un capteur cylindro-parabolique est un capteur à concentration à foyer linéaire utilisant un réflecteur cylindrique de section parabolique de construction facile et moins coûteux. Dans un concentrateur cylindro-parabolique, le fluide caloporteur (eau, huile thermique ou gaz) peut être porté à environ 100 à 160 °C.



Figure.II.7 Capteur Cylindro- Parabolique

II.2.2.3.B- Système optique d'une surface cylindrique

L'idée d'utiliser une série de longs réflecteurs cylindriques en forme de parabole (Fig. II.8) vient du fait qu'elle est stigmatique pour les points à l'infini situé sur son axe. D'après les lois de réflexion, tout rayon lumineux parallèle à l'axe de la parabole est réfléchi par la parabole suivant une droite passant par la ligne focale du réflecteur. Donc la parabole focalise tous les rayons réfléchis en une ligne appelée « la ligne focale ».

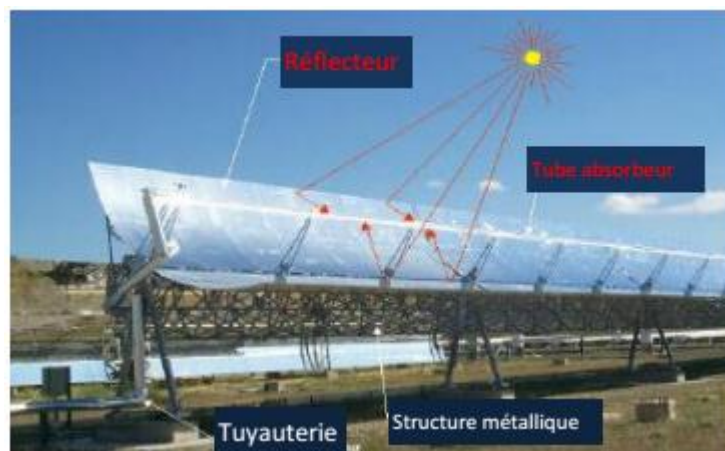


Figure. II.8 Système optique d'une surface cylindro-parabolique.

II.3-La performance d'un concentrateur cylindro- parabolique

La performance (optiques ou thermiques) est la mesure des résultats obtenus par de nombreux facteurs comme : [17]

- ✓ Taux de concentration (le rapport de la surface de l'ouverture à la surface de récepteur)
- ✓ La puissance (rayonnement) absorbée
- ✓ Coefficient des pertes thermiques
- ✓ La puissance utile
- ✓ Température de sortie de fluide caloporteur
- ✓ Rendement d'un concentrateur solaire

Les systèmes solaires à concentration collectent uniquement le rayonnement solaire direct. Vu que notre étude est concernée par des températures élevées au de la 400°C, nous allons donc étudier concentrateur cylindro-parabolique solaire sous **forme parabolique "Ovale"** et arriver par la suite à le réaliser.

II.4-Montage du concentrateur cylindro-parabolique

Il existe deux types de montage d'un capteur cylindro-parabolique : [19]

II.4.1- Le montage nord – sud suivant l'axe du monde(a) :

Le tube récepteur est parallèle à l'axe de rotation de la terre. Le suivi du Soleil nécessite un simple asservissement en rotation autour de cet axe.

II.4.2- Le montage est-ouest(b) :

Le tube récepteur est orienté est-ouest. Il faut orienter le capteur vers le soleil **deux ou trois fois par jour** pour optimiser la réception du rayonnement. Le rendement de captation est moins bon qu'avec le montage est-ouest asservi en rotation.

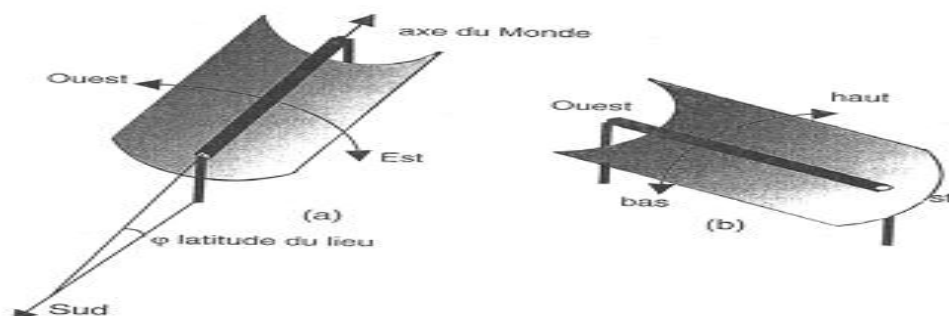


Figure II.9 – Montage d'un capteur cylindro- parabolique

II.5- Les applications

Les applications sont multiples, parmi lesquelles nous pouvons citer :

II.5.1- Applications à basses et moyennes températures

- **Le chauffage**

Le système solaire permet d'utiliser la chaleur produite pour les besoins d'eau chaude sanitaire, le chauffage d'habitats, [21].

- **Le dessalement des eaux**

Le dessalement de l'eau de mer est désormais un principe envisageable, voire nécessaire pour obtenir de l'eau potable. Le solaire thermique paraît être le mieux adapté à le réaliser [22].

- **Le séchage solaire des fruits**

Les fruits peuvent être séchés grâce à l'énergie solaire. Ils sont disposés dans une enceinte à l'intérieur de laquelle un courant d'air circule au-dessus des fruits [17].

II.5.2- Applications à hautes températures

- **L'électricité**

Le système de turbine à vapeur pour la production d'électricité présente un danger environnemental, puisqu'il dégage du CO_2 et contribue ainsi au réchauffement climatique. Nous pouvons alors envisager de remplacer la chaudière à gaz qui entraîne la turbine par des collecteurs solaires, **cylindro-paraboliques**, qui engendrent des fluides caloporteurs à haute température et par suite produisent de la vapeur d'eau [21].

Il faut également encourager l'utilisation des panneaux solaires photovoltaïques pour la production d'énergie électrique.

II.6- Les avantages de la concentration du rayonnement solaire

- ✓ Réduction des pertes thermiques.
- ✓ Réduction des surfaces réfléchissantes.
- ✓ La densité d'énergie au niveau de l'absorbeur est grande
- ✓ le fluide caloporteur peut travailler à température plus élevée pour la même surface de captation d'énergie.

II.7- La géométrie parabolique

II.7.1- Définition

Une parabole est le parcours ou un point qui se déplace de façon que ses distances d'une ligne fixe et un point fixe soient égaux. Ceci est illustré sur la figure II.10, où la ligne fixe est appelé la directrice et le point fixe (F) appelé foyer. Notez que la longueur FR est égale à la longueur RD. La ligne perpendiculaire à la directrice et passant par le foyer F est appelé l'axe de la parabole [24]. La parabole croise son axe à un point (V) appelé le sommet, qui est exactement intermédiaire entre le foyer et la directrice [21,24].

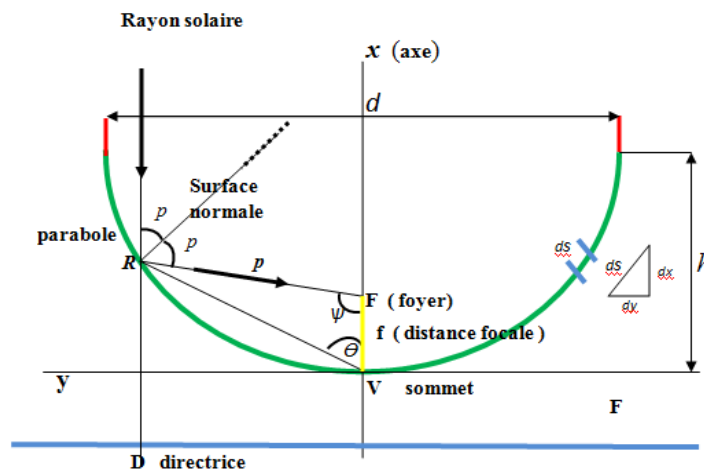


Figure II.10-La géométrie parabolique.

Si l'origine est prise au sommet (V) et l'axe des abscisses le long de l'axe de la parabole, l'équation de la parabole est [25]. :

$$y^2 = 4 \cdot f \cdot x \quad (\text{II-1})$$

La distance focale (f), est la distance du sommet (V) au centre. Lorsque l'origine est décalée vers le foyer (F) comme on le fait souvent dans les études optiques, et le sommet est à la gauche de l'origine, l'équation d'une parabole devient :

$$y^2 = 4f(x + f) \quad (\text{m}^2) \quad (\text{II.2})$$

Souvent, dans les études solaires, il est plus utile de définir la courbe parabolique à l'aide de la distance focale (f) et en fonction de l'angle (ψ). L'angle (ψ) est mesuré à partir de la ligne (VF) et le rayon parabolique p qui représente la distance (RF) entre le foyer F et de la courbe de la parabole. Donc :

$$P = \frac{2f}{1 + \cos\psi} \quad (\text{II.3})$$

La forme parabolique est largement utilisée en tant que surface réfléchissante pour concentrer les rayons solaires.

Etant donné que le rayonnement solaire arrivant à la terre sont des rayons essentiellement parallèles et d'après la loi de Snell l'angle de réflexion égal à l'angle d'incidence, on aura que rayonnement parallèle à l'axe de la parabole sera réfléchi vers un point unique (F) (appelé foyer), La relation (II.4) est selon les caractéristiques géométriques de la figure (II.4) :

$$\psi = 2p \quad (\text{II.4})$$

Les expressions générales données à ce jour pour la parabole définissent une courbe infiniment étendue. Les concentrateurs solaires utilisent une partie tronquée de cette courbe. L'ampleur de cette troncature est généralement défini en termes du rapport entre la distance focale (f) à diamètre d'ouverture (d) (f / d). L'échelle (taille) de la courbe est ensuite définie en fonction d'une dimension linéaire telle que le diamètre d'ouverture (d) ou la distance focale (f). Ceci est évident dans la figure II.11, qui montre différentes paraboles limitées ayant un centre commun et le même diamètre d'ouverture.

Le rapport
f/d

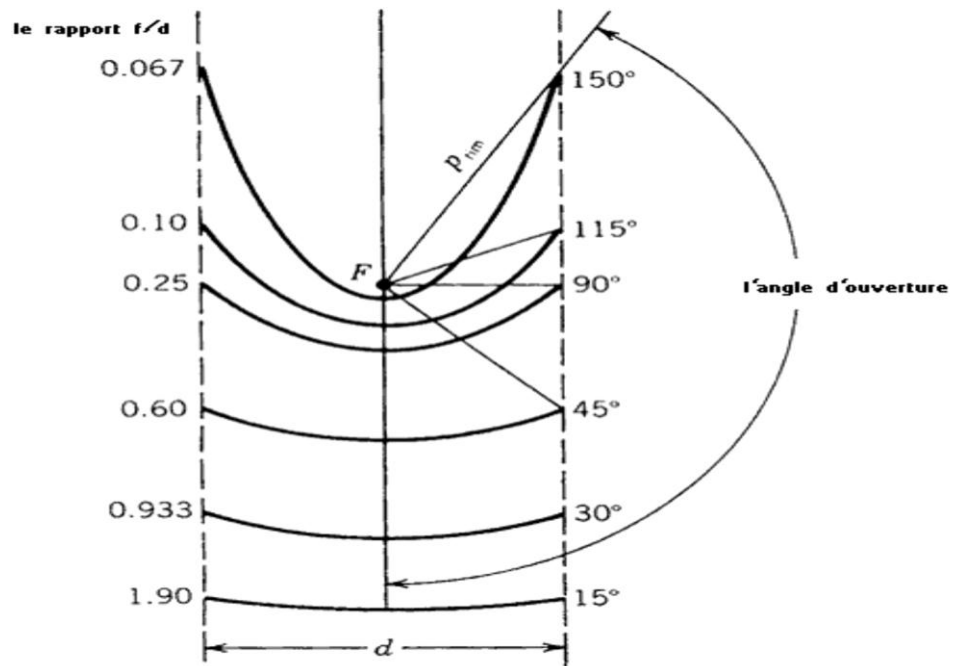


Figure II.11- Section d'une parabole possédant un foyer commun F
Et le même diamètre d'ouverture d [26].

II.7.2- Taille d'une parabole

On remarque qu'une parabole avec un petit angle d'ouverture est relativement plate et la distance focale est longue par rapport à son diamètre d'ouverture. Une fois qu'une partie déterminée de la courbe parabolique a été sélectionnée, la hauteur de cette courbe parabolique (h) peut être définie comme la distance maximale depuis le sommet jusqu'à une ligne tracée à travers l'ouverture de la parabole. A propos de la distance focale et le diamètre de l'ouverture, la hauteur (h) de la parabole est [27] :

$$h = \frac{d^2}{16f} \quad (\text{II.5})$$

Où (f) et (d) sont le distance focale et l'ouverture de la parabole.

D'une manière similaire, on peut décrire l'angle d'ouverture (ψ) en fonction des dimensions de la parabole :

$$\tan \Psi_p = \frac{1}{(d/8h) - (2h/d)} \quad (\text{II.6})$$

II.7.3- Longueur d'une parabole

Une autre propriété de la parabole qui peut être utile dans la compréhension de la conception de concentrateur solaire est la longueur de l'arc s voir figure II.8. Cela peut être perçu pour une parabole particulière à partir de l'équation (II.1), en intégrant un segment de différentiel de cette courbe avec les conditions limites $X = H$ et $Y = d / 2$, comme il est représenté sur la figure II.8. Le résultat donnant l'expression de S est [24] :

$$s = \left[\frac{d}{2} \sqrt{\left[\frac{4h}{d} \right]^2 + 2} \right] + 2f \ln \left[\frac{4h}{d} \sqrt{\left[\frac{4h}{d} \right]^2 + 1} \right] \quad (\text{II.7})$$

II.7.4. Surface d'une parabole

En prenant en considération que (d) est la distance à travers l'ouverture de la parabole, comme illustré sur la figure II.8 et (h) est la distance entre le sommet et l'ouverture.

La surface de la section transversale de l'espace enfermé entre une parabole et une ligne à travers son ouverture est donnée par [26,28]. :

$$A_x = \frac{2}{3} d \cdot h \quad (\text{cm}^2) \quad (\text{II.8})$$

II.7.5. Angle d'ouverture d'une parabole

Dans l'évaluation de la géométrie parabolique et les dérivations optiques connexes, le lecteur occasionnel devient souvent confondu avec les nombreuses formes utilisées pour représenter la géométrie d'une forme parabolique particulière. Les équivalences suivantes sont données pour la commodité du lecteur :

$$\tan \Psi_p = \frac{(f/d)}{2(f/d)^2 - \frac{1}{8}} \quad (\text{II.9})$$

f : distance focale.

d : diamètre de l'ouverture de la parabole.

II.8- Les composants d'un concentrateur cylindro-parabolique

Le concentrateur cylindro-parabolique est composé des éléments suivants :

1. Réflecteur
2. Récepteur
3. Support
4. Le système de poursuite
5. Le fluide caloporteur
6. Le miroir

II.8.1- Réflecteur

La surface formée par la rotation d'une courbe parabolique autour de son axe est appelée un parabolôïde de révolution. Les concentrateurs solaires ayant une surface réfléchissante dans cette forme sont souvent appelés concentrateurs paraboliques. L'équation pour le parabolôïde de révolution comme représenté sur la figure (II-12) en coordonnées rectangulaires à utilisant l'axe z en tant qu'axe de symétrie, est [29] :

$$X^2 + Y^2 = 4fZ \quad (\text{II.10})$$

En coordonnées cylindriques, l'équation devient comme suit [30] :

$$Z = \frac{a^2}{4f} \quad (\text{II.11})$$

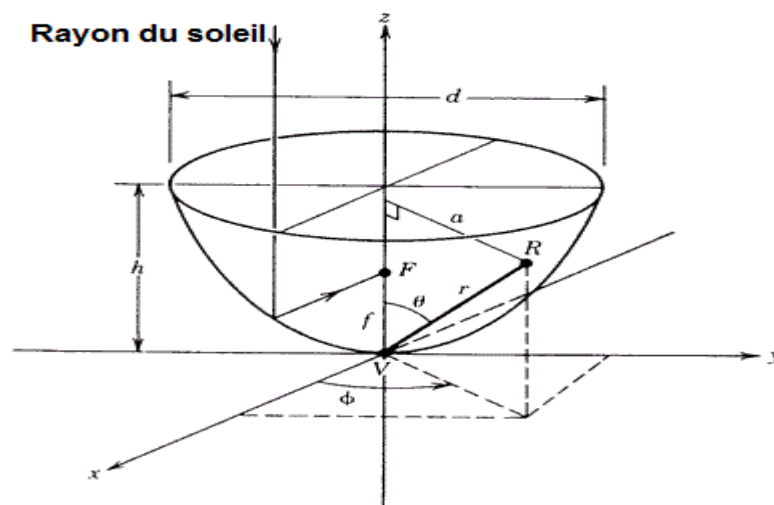


Figure. II.12 : Parabolôïde de révolution.

En coordonnées sphériques, l'équation du parabolôide de révolution dont le sommet est à l'origine (V) et (r), et définissant la position du point (R) sur le parabolôide, est :

$$\frac{\sin^2\theta}{\cos^2\theta} = \frac{4f}{r} \quad (\text{II.12})$$

θ : Angle d'incidence

La surface du parabolôide peut être trouvée en intégrant l'équation (II.11) on respectant les limites appropriées. Nous pouvons définir une bande à surface différentielle circulaire sur le parabolôide comme le montre la figure(II.13), et tel que l'élément de surface dA_s est défini :

$$dA_s = 2\pi a\sqrt{dz^2 + da^2} \quad (\text{II.13})$$

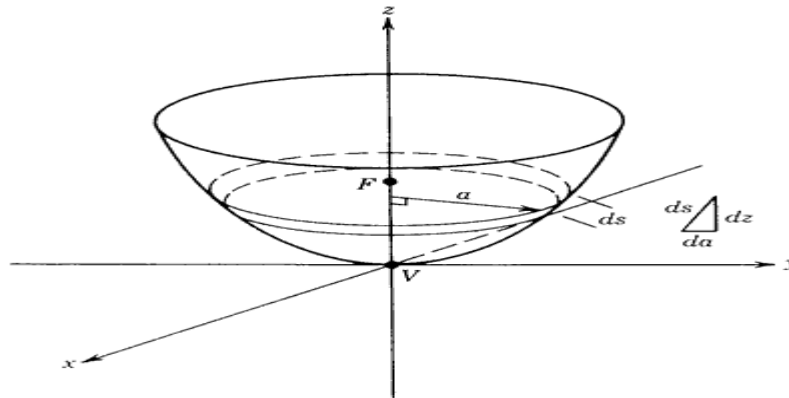


Figure .II.13: Élément différentiel de surface parabolique

Notons que l'élément différentiel de l'arc ds est calculé (donné) en fonction de la hauteur dz et de la distance radiale da . Trouver la dérivée de z par rapport à a aide de l'équation, (II.11) nous exprimons la bande de zone de différentiel comme suivant :

$$dA_s = 2\pi a\sqrt{\left(\frac{a}{2f}\right)^2 + 1} da \quad (\text{II.14})$$

La surface totale A_s d'un parabolôide ayant une distance focale f et un diamètre d'ouverture d peut être trouvée en intégrant l'équation (II.14).

$$A_s = \int_0^{d/2} dA_s = \left\{ \left[\left(\frac{d}{4f} \right)^2 + 1 \right]^{3/2} - 1 \right\}_s \quad (\text{II.15})$$

La zone d'ouverture du concentrateur qui est le plus important pour le concepteur solaire en vue de prédire la performance du concentrateur solaire, c'est simplement la zone circulaire (A_a) définie par le diamètre d'ouverture (d), et donnée par :

$$A_a = \frac{\pi d^2}{4} \quad (\text{II.16})$$

Une équation pour la zone d'ouverture peut également être exprimée en fonction de la distance focale et l'angle d'ouverture. En utilisant l'équation (II.3), qui est la forme polaire d'équation d'une parabole, nous trouvons :

$$A_a = \frac{\pi}{4} (2\pi \sin \psi_p)^2 \quad (\text{II.17})$$

$$A_a = 4\pi f^2 \frac{\sin^2 \psi_p}{(1 + \cos \psi_p)^2} \quad (\text{II.18})$$

Ψ_p : Angle d'ouverture de la parabole

f : Distance focale

II.8.1.A- L'Optique Parabolique et Sphérique

Les deux géométries sphériques et paraboliques sont représentées dans les concentrateurs solaires thermiques. Dans certains concentrateurs, cependant, une géométrie sphérique (ou plus généralement cylindrique) est utilisée comme une approximation d'une vraie parabole. L'optique sphérique permet l'ouverture fixe (à savoir, non-suivi) des concentrateurs. Depuis des géométries paraboliques dominent fortement les concentrateurs solaires, un examen assez approfondi de la description analytique de la géométrie parabolique est présenté dans ce chapitre.

Afin de faciliter une discussion de l'optique sphérique et parabolique, il est commode de définir le terme «plan de courbure», comme illustré par un creux parabolique à la figure (II.14).

Le plan de courbure (à savoir, la section transversale) peut être considéré comme une tranche bidimensionnelle normale, dans le cas d'une cylindro-parabolique, à l'axe linéaire du concentrateur. Pour une forme sphérique ou une antenne parabolique, le plan de courbure est mis en rotation pour générer la géométrie de la coupelle. Les principes optiques des miroirs sphériques et paraboliques sont examinées ci-dessous à travers les diagrammes de rayons traces et en limitant la discussion initialement au plan de courbure. L'impact de translation ou de rotation du plan de courbure est ensuite examiné afin d'évaluer les caractéristiques optiques de la géométrie de concentrateur réelles.

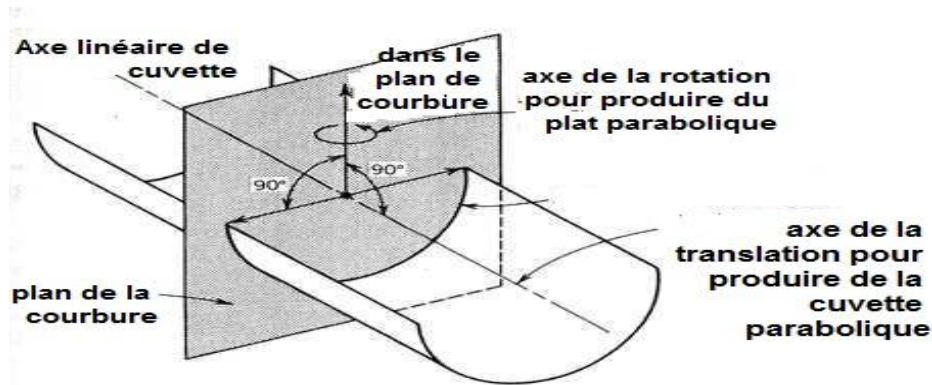


Figure II.14 Définition de plan de courbure

Le but d'une discussion générale à ce stade, avant d'examiner les concepts de concentrateur individuels, est de développer une compréhension des limites de base imposées par des géométries sphériques et paraboliques et comment ces limites influent sur la conception de base du concentrateur.

L'équation d'un cercle tel qu'établi dans la figure (II.15) a en coordonnées cartésiennes avec son centre au a , b et de rayon r est :

$$(x - a)^2 + (y - b)^2 = r^2 \quad (m^2)$$

Ce qui réduit à la forme familière :

$$x^2 + y^2 = r^2 \quad (m^2) \quad (II.20)$$

Presque le cercle est centré à $(0,0)$. L'équation pour une ligne tangente à ce cercle au point (x_1, y_1) est :

$$x_1 x - y_1 y = r^2 \quad (m^2) \quad (II.21)$$

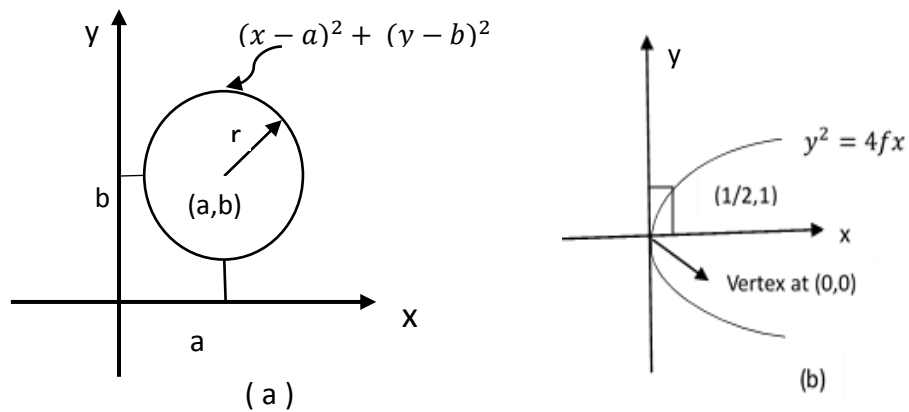


Figure II. 15 Définition de (a) cercle et (b) parabola

Une parabole (voir Figure II.16) peut être définie comme une section d'un cône circulaire droit résultant d'un découpage de plan à travers le cône parallèle à, mais ne comprenant pas, l'axe du cône. L'équation d'une parabole d'une longueur focale f , dans les coordonnées cartésiennes est :

$$y^2 = 4fx \quad m^2 \quad (\text{II. 22})$$

Le sommet d'une parabole ayant cette forme sera à $(0,0)$. L'équation de la tangente à cette parabole en (x_1, y_1) .

Ces équations de base sont utiles pour l'examen des propriétés optiques des miroirs sphériques et paraboliques.

Une autre caractéristique utile dans la discussion des miroirs paraboliques ou sphériques est l'angle de la jante. Angle Rim est défini graphiquement à la figure II.16 pour une cylindro-parabolique. Une définition similaire est valable pour antennes paraboliques et des miroirs basés sur la géométrie sphérique.

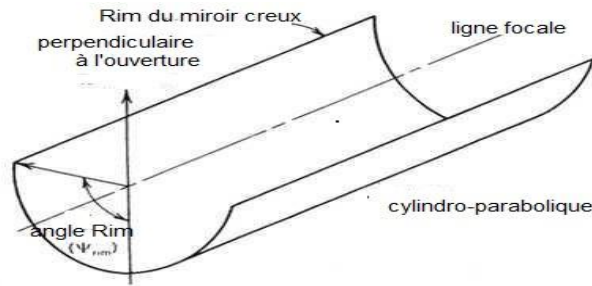


Figure II. 16 Définition de l'angle Rim

II.8.2- Le récepteur (absorbeur)

Le récepteur solaire convertit le rayonnement solaire concentré en chaleur utilisable. Le récepteur est le composant le plus chaud du système de four solaire. L'efficacité du récepteur solaire traduit son aptitude à transférer le maximum de puissance radiative incidente à la plaque chauffante à la température de travail en supportant des pertes thermiques minimales. L'élément actif du récepteur est la plaque chauffante [31].

Il est important que le récepteur soit métallique, car seuls les métaux ont de bons coefficients de conduction (cuivre : 389W/m.k, aluminium : 200 W/m.k, acier : 60 W/m.k) [32].

La surface du récepteur doit avoir les caractéristiques suivantes :

- Une bonne conductivité et diffusion thermique.
- Un facteur d'absorption aussi voisin que possible de l'unité.
- Une bonne résistance chimique vis à vis du fluide utilisé.

II.8.2.A. Dimension du récepteur

Un faisceau solaire conique, réfléchi d'un point (B) sur le miroir des formes paraboliques, une image elliptique sur un plan focal, comme le montre la figure II.17. Dans cette figure, (F) et (f) représentent respectivement le point focal et la distance focale, et est le demi-angle sous-tendu par le soleil. Le petit rayon s_f et le grand rayon r_f de l'ellipse sont indiqués comme suit [33,34] :

$$S_f = \frac{f \theta_s}{(1 + \cos \psi)} \quad (\text{II.23})$$

$$r_f = \frac{f \theta_s}{(1 + \cos \psi) \cos \psi} \quad (\text{II.24})$$

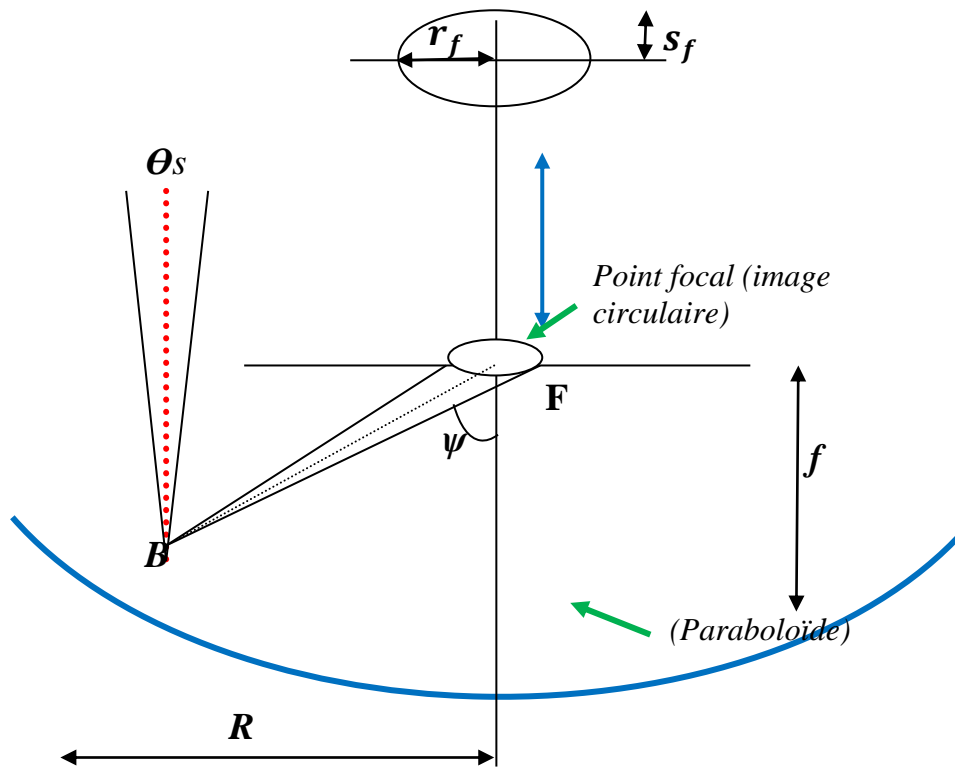


Figure. II.17 : L'image ellipse.

Le récepteur doit absorber autant de flux solaire concentré possible, et le convertir en énergie thermique, cette chaleur est transférée dans un (liquide ou gaz).

En fonction de leur surface de transfert, on classe les récepteurs solaires en **deux catégories** :

- **Surface externe :**

Il y a plusieurs configurations possibles : plane, cylindrique, conique ou sphérique, dépendantes de la répartition, de l'intensité du flux, de la température et de l'application. Ce genre de récepteur s'applique généralement dans la gamme température de l'ordre 300-400°C maximum.

- **Surface interne ou cavité :**

Ce type de récepteur est bien adapté pour le cas où l'intensité du flux et la température de travail sont élevées. Le flux énergétique concentré entre dans le récepteur par l'ouverture dont la surface est généralement **5 à 10 fois** inférieure à celle de la surface de transfert dans la cavité.

C'est un moyen efficace pour augmenter le coefficient d'absorption et diminuer les pertes [31]

Plus le coefficient de conduction est faible et plus l'absorbeur doit être épais, ce qui augmente le prix et l'inertie de l'absorbeur.

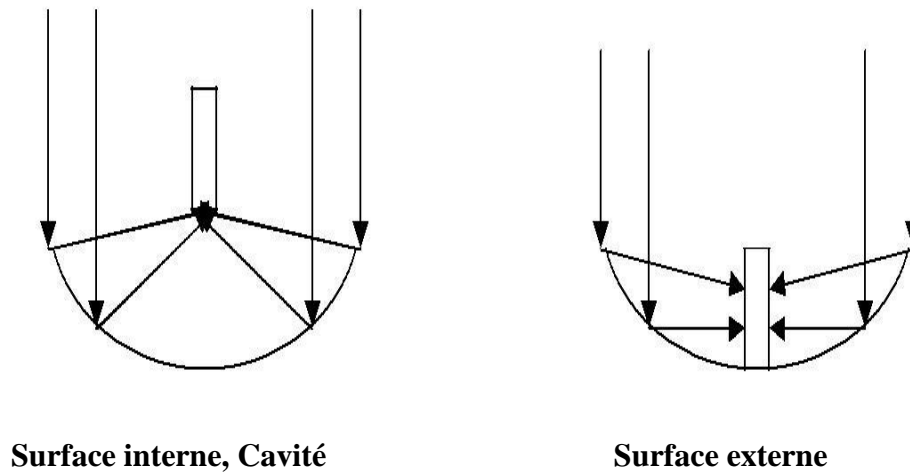


Figure II.18- Catégories des récepteurs

II.8.3- Support

Il reste à l'intérieur de la parabole et détailler sa conceptions dans une figure dans ce qui suit.

II.8.4- Le système de poursuite

C'est un système qui suit la course du soleil sous des angles multiples, de manière à ce qu'il irradie entièrement le panneau. Ainsi on améliore le rendement des panneaux solaires de 30 à 40%.

II.8.5- Le fluide caloporteur

Un fluide caloporteur est chargé de transporter la chaleur entre deux ou plusieurs sources de température. Il accumule l'énergie captée au niveau du tube.

Une variété d'huile est généralement utilisée et permet d'atteindre une température de l'ordre de 400 °C.

II.8.6- Le miroir

Trois types de surfaces réfléchissantes ont été utilisés pour des concentrateurs cylindro-paraboliques solaires :

- **La première possibilité, la plus classique**, consiste en un dépôt d'argent ou d'aluminium à l'arrière d'une plaque de verre, c'est le concept des miroirs domestiques traditionnels. L'amélioration pour l'utilisation de ce type de miroir pour

un concentrateur parabolique se situe sur l'épaisseur de la plaque de verre. Celle-ci est en effet inférieure au mm augmentant ainsi la réflectivité du miroir et permettant de les courber pour obtenir la forme parabolique désirée. Ce type de surface peut atteindre une réflectivité de l'ordre de 95 % [33].

- **La seconde est basée sur le même principe** mais on remplace la plaque de verre par un film plastique, plus flexible et moins cher. Cependant les propriétés mécaniques et optiques de ces films se dégradent sous l'effet des ultraviolets.

- **La troisième possibilité consiste en des feuilles d'aluminium polies.** Ces feuilles peuvent être de grandes tailles et sont peu chères mais ont une faible réflectivité (85%) et une faible longévité.

II.9- La concentration

Ce paramètre indique la quantité de concentration légère d'énergie réalisée par un collecteur donné, Les deux définitions normales de la concentration solaire sont la concentration géométrique (surface) et la concentration système optique (flux).

II.9.1- Concentration géométrique

C'est le rapport de la surface de l'ouverture du collecteur A_a à celle du récepteur A_r

$$C_g = \frac{A_a}{A_r} \quad (\text{II.25})$$

II.9.2- Concentration optique (énergétique)

Est égale au rapport de l'éclairement moyen sur la surface de l'absorbeur à l'éclairement de l'ouverture.

$$C_0 = \frac{I_r}{I_a} \quad (\text{II.26})$$

I_r : l'énergie reçue à l'ouverture du récepteur.

I_a : l'énergie reçue à l'ouverture d'un paraboloïde.

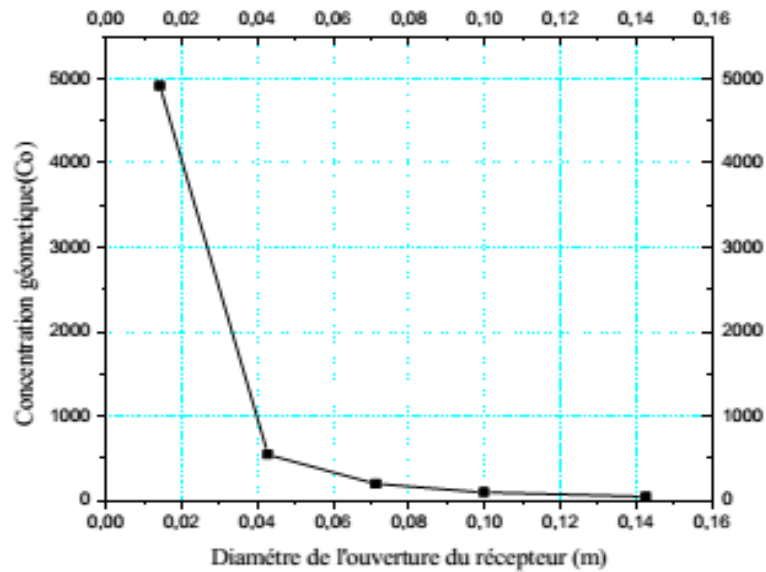


Figure II.19- Concentration géométrique à différentes valeurs du diamètre du récepteur (d2)

On remarque que l'optique peut délivrer des concentrations théoriques supérieures à 100000, ce qui est énorme. Dans la pratique on réalise des concentrateurs paraboliques dont les rapports réalisables de la concentration sont beaucoup plus petits, en tenant compte de la contribution des erreurs sur la qualité géométrique des surfaces, de l'erreur de poursuite du soleil et l'erreur de focalisation du récepteur, on peut obtenir des concentrations de l'ordre de 40000 [35], [36].

On définit la concentration d'un concentrateur cylindro- parabolique par [36], [37]

$$C = 4 \frac{\sin^2 \psi}{\theta_s^2} \quad (\text{II.27})$$

La concentration maximum C_{\max} 46250 pour $\psi = 90^\circ$

II.9.3- La surface du concentrateur

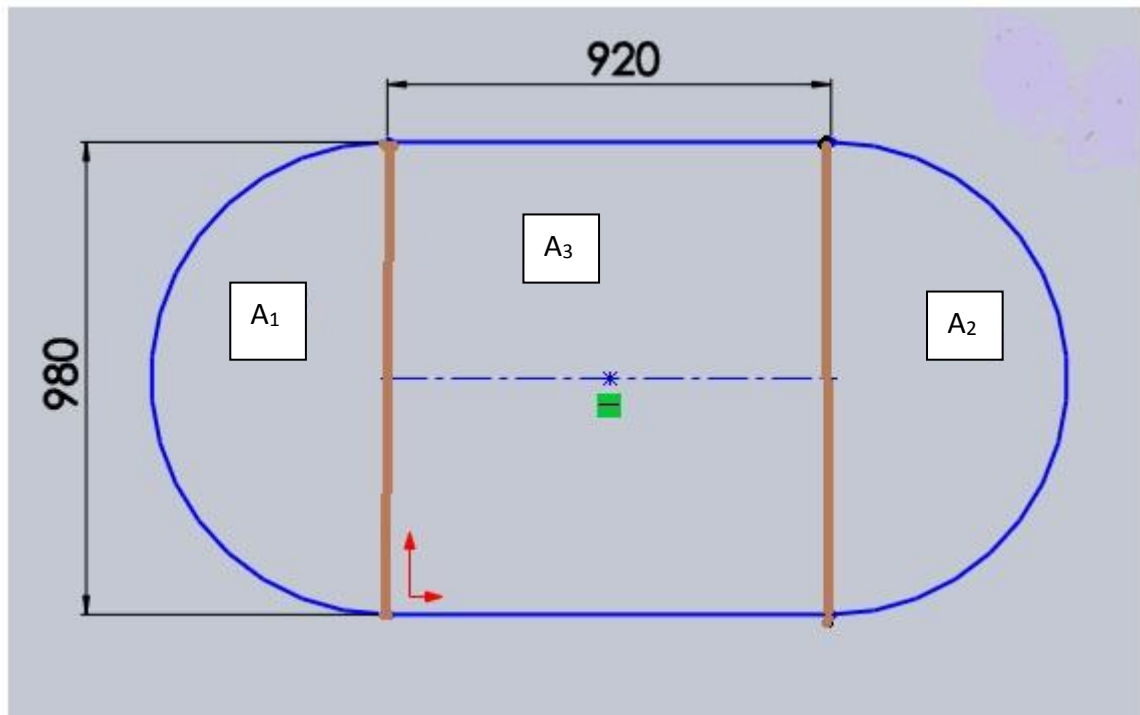


Figure II. 20 - Concentrateur cylindro-parabolique de forme ovale.

La surface totale du concentrateur A_x : $A_x = A_1 + A_2 + A_3$

*- La surface ($A_1 + A_2$) : la surface de la parabole qui coupée en deux moitiés.

*- La surface $A_3 = 1$ (m²) : la surface de la tôle métallique du milieu du concentrateur.

$$A_x = A_1 + A_2 + A_3$$

II.9.4- Le rendement optique

Le rendement optique d'un concentrateur cylindro-parabolique est défini comme étant le rapport du rayonnement absorbé par unité de surface à celle incident sur l'absorbeur [38]

$$\eta_{op} = \frac{\dot{Q}_a}{\dot{Q}_o}$$

\dot{Q}_a : Quantité de rayonnement absorbé par unité de surface

\dot{Q}_o : Quantité de rayonnement totale incident sur l'absorbeur

I.9.5 - L'importance de la concentration solaire

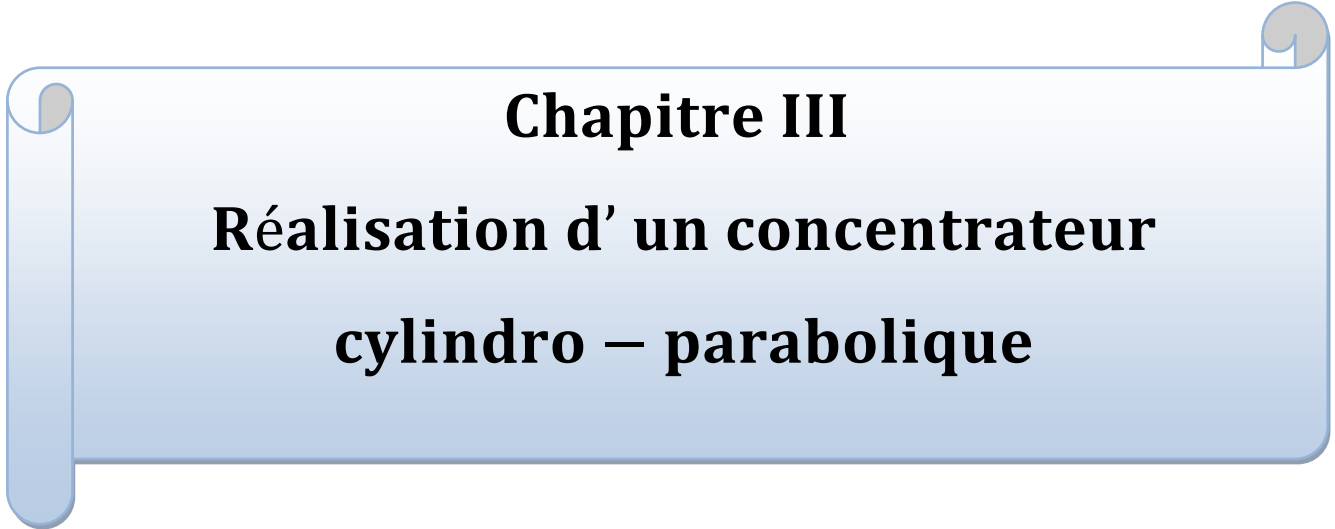
Le tableau résume les avantages et les désavantages des systèmes à concentration comparés Aux capteurs plans.

Avantages	Désavantages
<ul style="list-style-type: none"> • Réduction des surfaces réfléchissantes. • Réduction des pertes thermiques. • La densité d'énergie au niveau de l'absorbeur est grande donc le fluide caloporteur peut travailler à température plus élevée pour la même surface de captation d'énergie. • Les systèmes à concentration peuvent être utilisés à la production d'énergie électrique. • Le stockage est plus faible pour des systèmes à concentrateurs qu'à capteurs plans. 	<ul style="list-style-type: none"> • Le rayonnement diffus est très mal utilisé dans les systèmes à forte concentration, seul le rayonnement direct est concentré. • Les concentrateurs nécessitent un système de poursuite du soleil qui va augmenter le coût du système à installer. • Le pouvoir réflecteur des miroirs décroît dans le temps et il faut les réargenté ou le repolir. • L'absorbeur est soumis à de grandes variations de température lors des passages nuageux.

II.10- Conclusion

La position du soleil change au fil de la journée (en fonction de la rotation de la Terre) et de la période de l'année (en fonction des variations d'inclinaison de l'axe de la Terre par rapport à l'orbite du soleil).

L'orientation des capteurs est un problème important dans l'utilisation des capteurs à rayonnement concentré. Puisque la position apparente du soleil par rapport à un point de captation est constamment variable à l'échelle d'une journée, nous serons donc obligés de modifier constamment la position du concentrateur afin de collecter le maximum d'énergie en utilisant des dispositifs solaires.



Chapitre III
Réalisation d' un concentrateur
cylindro – parabolique

III.1- Introduction

Le concentrateur cylindro-parabolique présente la technologie solaire la plus mature actuellement. Il se distingue par sa simplicité ainsi que ses performances élevées dans le domaine de la production de la vapeur d'eau.

Donc c'est un appareil basé sur la transformation en chaleur des rayonnements lumineux émis par le soleil.

Actuellement les CCP assemblés dans des champs de collecteurs sont responsables pour toute production de l'énergie thermique solaire, le concentrateur cylindro-parabolique reste pour la production de la vapeur le convertisseur le plus compétitif, comme les centrales Luz utilisées pour la production de l'énergie électrique [38].

Dans ce chapitre, nous présenterons différentes étapes de la conception et la réalisation du concentrateur cylindro-parabolique solaire ovale.

III.2- Description et réalisation des composants du prototype

Pour la conception et la réalisation de cet prototype, nous avons procédé tout d'abord à l'établissement des dessins définition et ensuite le dessin d'ensemble.

Le choix des matériaux de l'élément composant l'appareil a été réajusté au cours de la réalisation (en fonction des caractéristiques de chaque élément). Ensuite, nous avons procédé à l'usinage et la fabrication des différentes pièces formant le concentrateur cylindro-parabolique solaire qui sont :

1. Réflecteur
2. Récepteur
3. Support
4. Le système de poursuite
5. Le miroir

III.3-Les étapes de réalisation du concentrateur cylindro-parabolique

III.3-1-Réflecteur :

Les réflecteur est réaliser à partir d'une assiette métallique de parabole du diamètre ($D = 980$ mm) et une tôle métallique de (920×980)



(a)

(b)

Figure. III.01 : Coupage d'une assiette métallique de parabole du diamètre ($D = 980$ mm)



(a)

(b)

Figure. III.02 : (a) et (b) réalisation des gabarits pour les utiliser comme guide de rendre la tôle métallique en forme cylindro-parabolique.



(a)

(b)

Figure. III.03 : (a) et (b) traitement de la tôle métallique de (920 × 980) pour que sera en forme cylindro-parabolique et l'assembler avec l'assiette métallique de parabole.



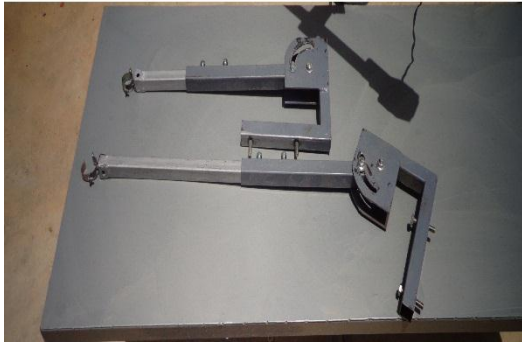
(a)

(b)

Figure. III.04 : (a) et (b) ; Après le forçage, la forme finale du réflecteur.

III.3-2- le récepteur

Le récepteur est constitué par les parties suivantes : un tube de verre couvrant un tube de cuivre peint en noir et de diamètre 14 mm et de 1000 mm de longueur, aux extrémités du tube de verre on monte deux bagues de cuivre pour les protéger et pour fixer le tube de cuivre au milieu du tube de verre.



(a)



(b)

Figure. III.05 : (a) Bras du support démontable et orientable pour le récepteur (b).

III.3-3-Le support

Le support est un élément qui porte le dispositif et qui a été réalisé en tube carré soudé par arc électrique et ce - ci pour réduire le poids et faciliter la mobilité et le stockage. On note que le support contient deux étages l'un pour les accessoires de dispositif et l'autre pour le dispositif.



Figure. III.06 : Le support de concentrateur



Figure. III.07 : Réflecteur et support du tube récepteur

III.3-4-Le système de poursuite

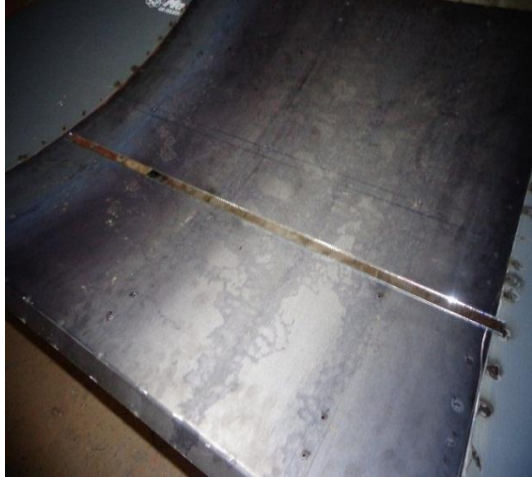
Le concentrateur parabolique nécessite un système de poursuite du mouvement du soleil pour atteindre le maximum de flux solaire. Nous avons adopté un mécanisme de poursuite très simple se basant sur un (vérins et un axe rotatif) pour tourner le concentrateur solaire à la position du soleil à tout instant.



Figure. III.8 : Le système de poursuite

.3-5-Le miroir :

Le mosaïque de petit miroir (2x2cm) et (2x100cm) miroirs pour reflétés les rayons solaires vers le récepteur.



(a)



(b)

Figure. III.09 : (a) et (b) collage d'une mosaïque de petit miroir (2x2cm) et (2x100cm).

III.4-Les instruments des mesures

III.4-1- Les pointeurs solaires :

Les pointeurs solaires fonctionnent par tous les temps ; ce sont des instruments de pointage et de positionnements fiables et abordables (figure. III.10). Soit en tant que pointeurs solaires dédiés, soit en tant que positionneurs gérés par ordinateur.



(a)



(b)

Figure. III.10 : pointeur solaire

III.4-2- Pyranomètre :

Les pyranomètres sont des radiomètres conçus pour mesurer le flux lumineux reçu sur une surface plane (figure. III.11). provenant généralement du rayonnement solaire et de lampes.



Figure. III.11 : pyranomètre



Figure. III.12 : Radiomètre

III.4-3--Capteurs de durée d'ensoleillement :

Radiomètres destinés à mesurer la durée d'ensoleillement (figure. III.12). Selon l'OMM, la durée de l'ensoleillement représente la période durant laquelle le rayonnement solaire direct dépasse le seuil de 120 W/m^2 .

III.4-4- Pyrhéliomètre :

Le pyrhéliomètre est conçu pour effectuer des mesures du rayonnement solaire direct en incidence normale, sans surveillance.

III.4-5- Les instruments des mesures de température :

On a utilisé un afficheur numérique de température - 0 à $500 \text{ }^\circ\text{C}$ (figure. III.14) avec des thermocouples de type k, sonde de cuisson thermomètre pour mesurer l'eau d'alimentation, thermomètre infrarouge IR laser sans contact sonde de température - 50 à $900 \text{ }^\circ\text{C}$.



Figure. III.13 : pyrhéliomètre

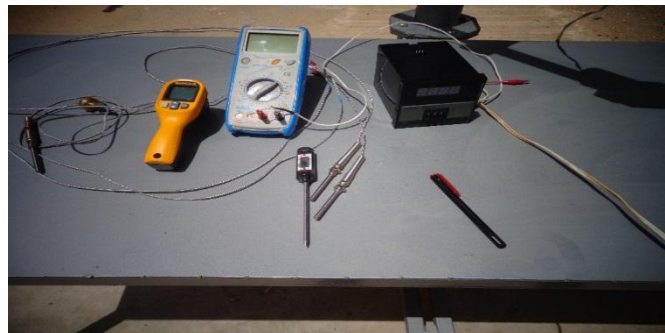


Figure. III.14 : instruments des mesures de Temp.

III.5- conclusion

La concentration du rayonnement solaire sur un seul foyer permet d'atteindre des températures élevées. Cela rend possible le réchauffement du récepteur, dans une gamme de température importante et avec un meilleur rendement (rapport chaleur utile/énergie incidente).

Donc les concentrateurs optiques présentent un des moyens pour résoudre les problèmes posés par la faible densité énergétique du rayonnement solaire incident. Chaque concentrateur caractérisé par leur concentration géométrique, optique (énergétique) et leur rendement optique au niveau du réflecteur et le rendement thermique au niveau de l'absorbeur.



Chapitre IV
Résultats et Discussions

IV.1- Introduction

Dans ce chapitre, on va montrer que le chauffage de l'eau circulant à l'intérieur d'un tube absorbeur d'un capteur solaire avec effet de concentration de type cylindro-parabolique.

Les résultats obtenus montrent qu'il y a un écart de température important de entrée du capteur jusqu'à la sortie pour les périodes de tests considérés.

IV.2- L'expérience (teste de concentrateur cylindro- parabolique réalisé) :

Nous avons étudié d'une façon expérimentale la température de concentrateur cylindro-parabolique durant la journée du 21/05/2016, ainsi que l'influence de certains paramètres sur sa variation.

Notre expérience s'est déroulée durant la journée du 21/05/2016, de 13 h 00 à 14h40.

Le teste a été déroulé de la manière suivante :

IV.3- Installation du concentrateur cylindro-parabolique solaire :

Le concentrateur cylindro-parabolique solaire fonctionne quand les rayons solaires sont parallèles à son axe foyer. Donc il faut le placer dans un environnement clair et bien aéré, avec ciel dégagé en évitant les zones d'ombres autour de l'équipement. La partie recevant le système de poursuite devra être bien verticale.

IV.4- Réglage du concentrateur cylindro-parabolique solaire :

Au début, le concentrateur cylindro-parabolique solaire sera pointé vers le sud vrai. A l'aide d'un système de poursuite commandé perspectif, sera initialisé et dirigé sur la position du soleil depuis son lever. Les rayons du soleil seront reflétés au foyer du paraboloïde formeront la tache solaire qui devrait apparaître à la face avant du récepteur.

IV.5- L'emplacement des thermocouples :

Pour déterminer la température atteinte sur les surfaces du concentrateur cylindro-parabolique solaire, trois thermocouples de type k sont placés à l'intérieur du récepteur la figure IV.1 montre les positions réelle des thermocouples au récepteur.

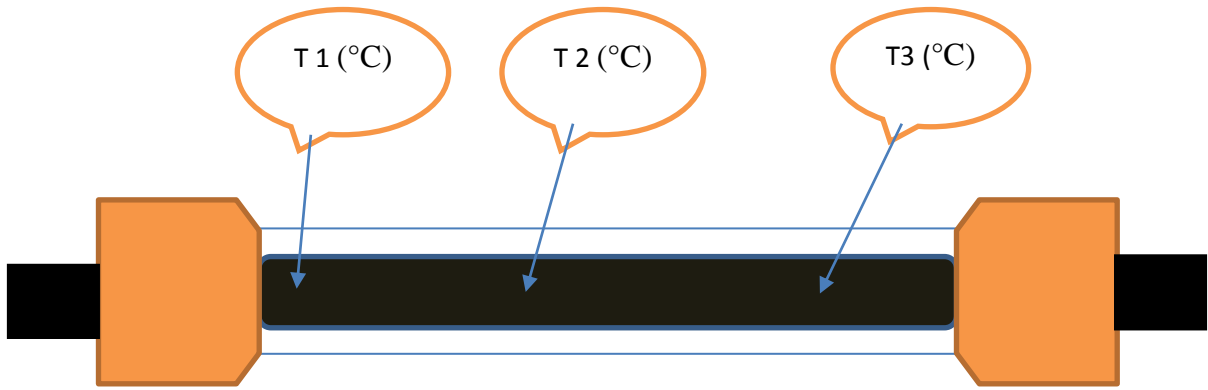


Figure. IV.1 : Tube récepteur du concentrateur et les positions des thermocouples.

IV.6- les mesures :

Les températures ont été mesurées à l'aide d'un thermocouple à affichage numérique - 0 à 500 °C. Le relevé de la température se fait toutes les 10 minutes. Le récepteur est à la température ambiante quand l'expérience commence. Le tube récepteur du concentrateur et les thermocouples de type k et le thermomètre IR laser sans contact sonde de température -50 à 900 °C et des multimètres sont montrés sur la figure. IV.2.

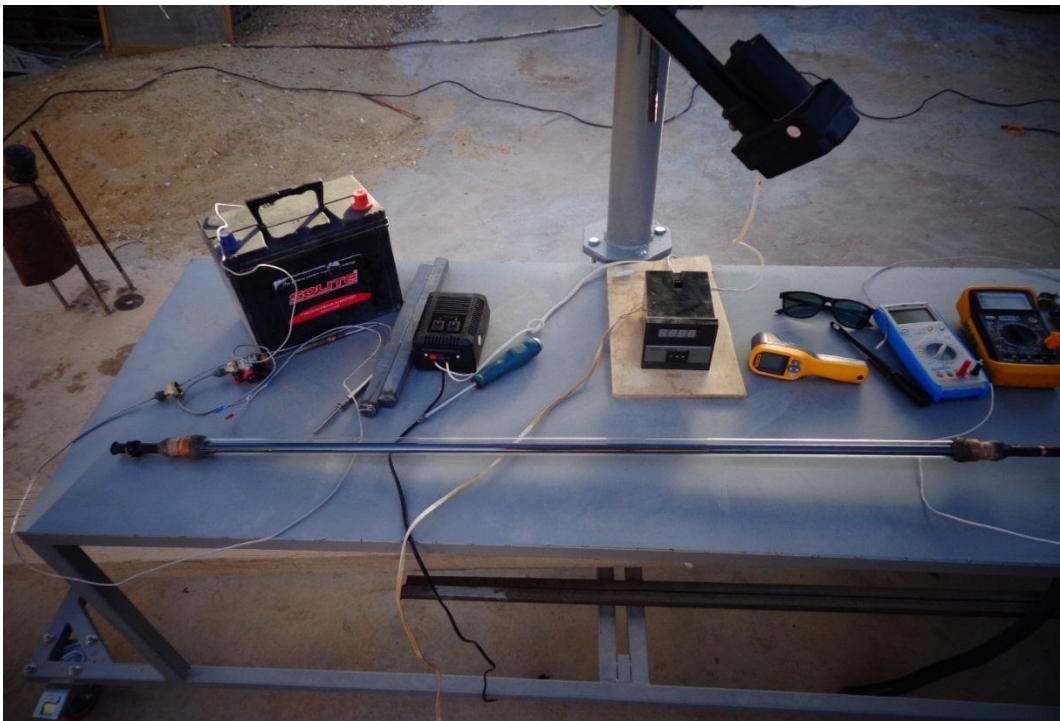


Figure. IV.2 : Les instruments de mesure utilisés sont représentés sur l'image au-dessus.

IV.7. Chauffage continue du concentrateur cylindro-parabolique solaire :

Pour étudier l'évolution de la température de la surface du concentrateur cylindro-parabolique solaire et qui nous permet de connaître les différents mécanismes qui se produisent au cours du chauffage, nous chauffons le récepteur avec le rayonnement solaire concentré d'une façon continue.

La figure.IV.3. représente la variation de la température du concentrateur en fonction du temps pendant le teste. Au début du chauffage, la température du concentrateur cylindro-parabolique solaire est égale à la température ambiante, après dix (10) minutes de chauffage, cette température croit en fonction du rayonnement solaire concentré à la surface focale du concentrateur. Elle continue à augmenter où sa valeur Le maximum de la température ambiante est atteint entre 14h10 et 14h20 heures, lorsque la vitesse de vent est nul.

Nous remarquons que la température du récepteur peut atteindre des températures de l'ordre de 120 , 157 °C .respectivement.

Les mesures sont indiquées dans le tableau suivant :

Numéro	Temps (Heures)	T ambiante (atmosphère) (°C)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	Vitesse du vent (m/s)
01	13:00	29	29	29	29	2.6
02	13:10	29	85	59	84	2.6
03	13:20	30	96	70	95	1.66
04	13:30	31	108	87	107	0.0
05	13:40	31	119	93	117.5	0.0
06	13:50	32	130	97	129	0.0
07	14:00	32	135	98.5	133.5	0.0
08	14:10	32	140.5	100.5	139	0.0
09	14:20	32	147	101	145	0.0
10	14:30	31	140	100	138.5	1.1
11	14:40	31	130	98	128	1.4

Tableau. 1. - de mesures de la vitesse vent et de la température de la surface du récepteur du concentrateur en fonction du temps durant la journée du : 21/05/2016.

Le tableau.1. Contient les onze prises des mesures des températures T1, T2, T3 et T ambiante de la surface du récepteur du concentrateur et de la vitesse du vent en fonction du temps, à chaque 10 minutes après (13 H 00) jusqu'au (14 H 40), durant la journée du : 21/05/2016.

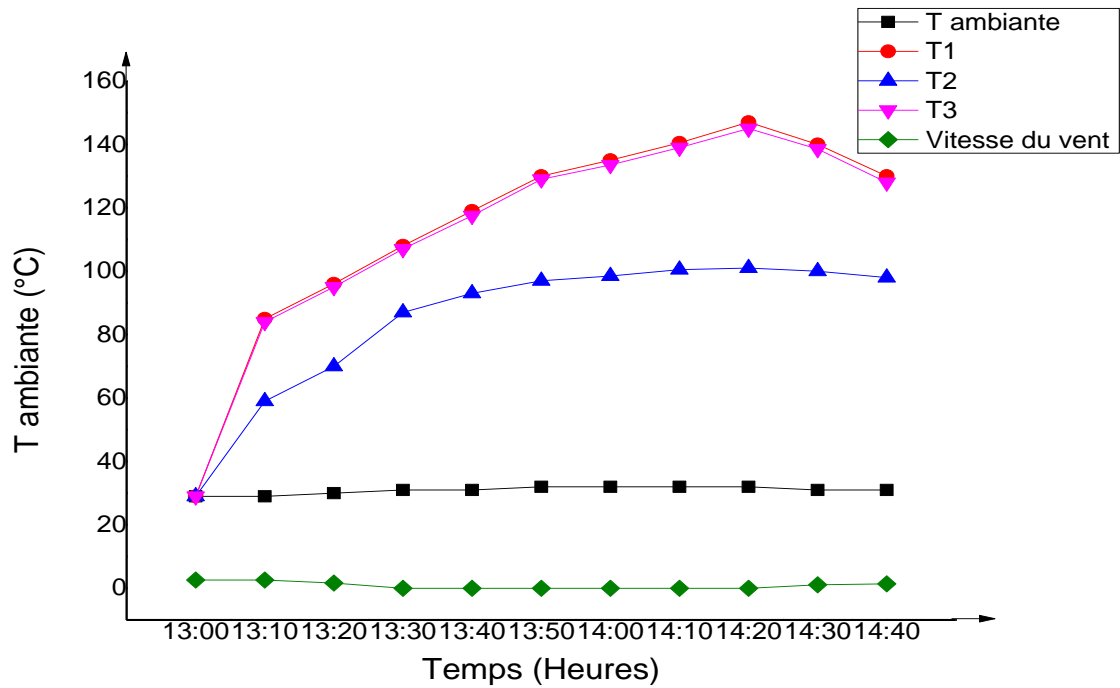


Figure. IV.3 : Evolution de la vitesse du vent et de la température de la surface du récepteur du concentrateur en fonction du temps durant la journée du : 21/05/2016.

IV.8. Evolution de la vitesse du vent :

Pour pouvoir estimer l'effet du vent sur la température du récepteur ou a regroupe les variations des paramètres mesurée avec celle du vent suivant le temps du teste est montré à la figure.IV.3.

D'après les résultats (figure. IV.3,) on observe :

1. Une variation de la température ambiante de la surface du récepteur du concentrateur entre (29 à 32 °C) en fonction du temps.
2. Une autre variation de la vitesse du vent entre (0 à 2.6 m/s) en fonction du temps, le teste a commencé à 13 H 00 à vitesse du vent de (2.6 m/s) jusqu'au 13 H 30 le vent s'arrête, à 14 H 30 le vent recommence à la valeur (1.66 m/s).
3. Une autre variation des températures T1et T3 entre (29 à 147 °C) en fonction du temps, la valeur maximale atteinte (147 °C) pendant l'arrêt du vent à 14 H 30.
4. Une autre variation de las de températures T2 entre (29 à 101 °C) en fonction du temps, de la même interprétation la valeur maximale atteinte (101 °C) pendant l'arrêt du vent à 14 H 30.

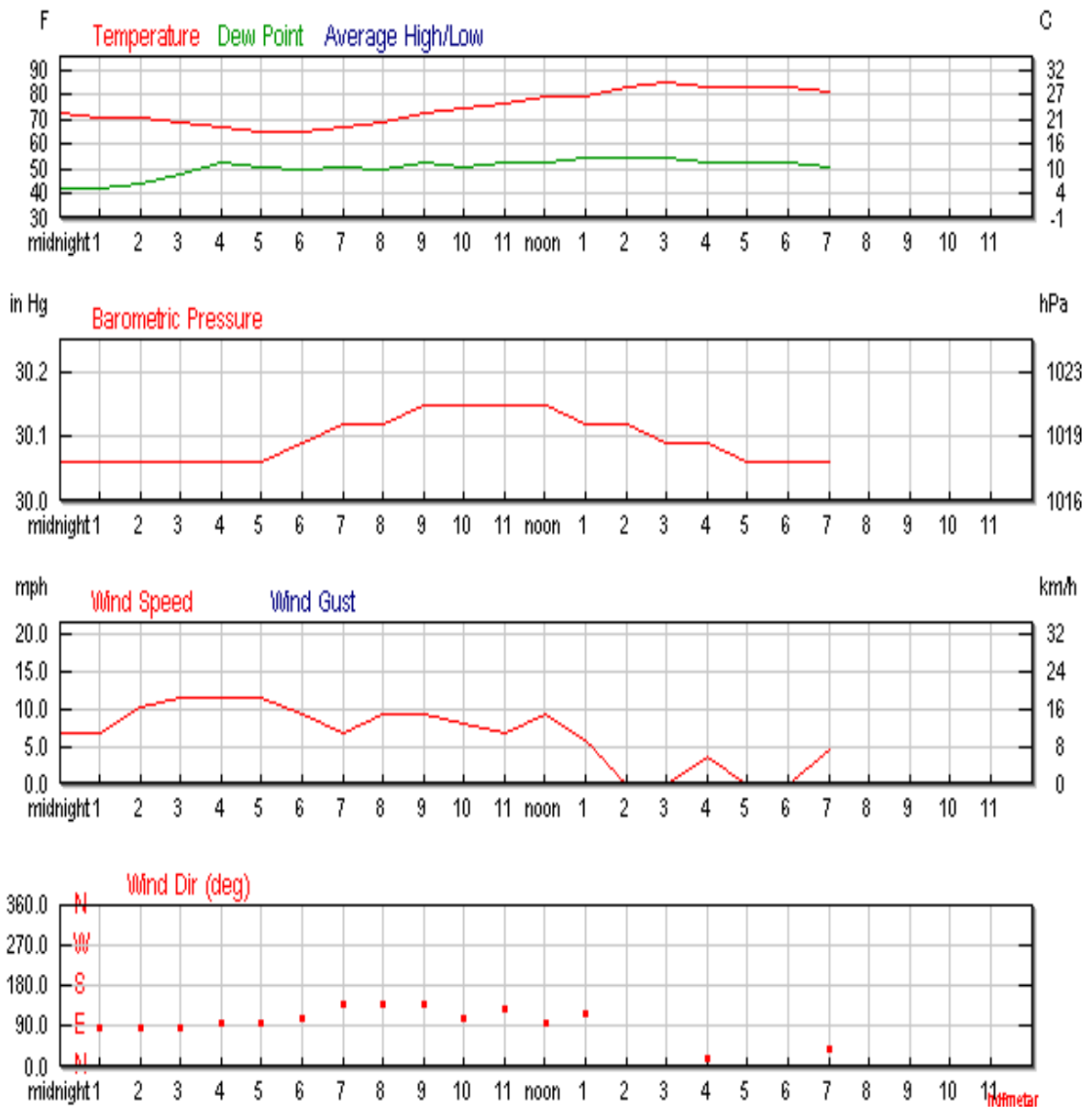


Figure. IV.4 : Graphiques météorologiques quotidiens durant la journée

du : 21/05/2016 [3]

La figure. IV.4. montre les graphiques météorologiques quotidiens durant la journée du : 21/05/2016 [3], à l'aéroport / DAUO « Guemar- Algérie », données par le site « wunderground. »

Ces graphiques météorologiques quotidiens sont pris pour les comparer avec les mesures et les résultats obtenus.

IV.9- Problèmes rencontrés :

Les problèmes rencontrés lors de la réalisation du prototype de concentrateur Parabolique se résumant comme suit :

- Le problème de fixation des thermocouples : il arrive que l'un des thermocouples se détache au cours de l'expérience.
- Le problème de relevé de la température car sa valeur varie rapidement sous l'influence de la vitesse du vent.
- Les conditions climatiques inappropriées, les vents de sables, les nuages.

IV.10-Conclusion et perspectives :

Après le test de concentrateur cylindro-parabolique solaire réalisé nous avons conclu que Les rayonnements solaires orientés sur le récepteur fournissent des températures adéquates pour but final de produire de la chaleur ou l'énergie thermique. La gamme des températures est de l'ordre de 110 à 150°C.

En perspective, nous allons focaliser notre étude pour caractériser ce type de concentrateur cylindro-parabolique ovale

Et cette connaissance des caractéristiques nous permettent d'avoir les meilleures applications.

Conclusion générale

Après avoir effectué une étude bibliographique sur le sujet en question, et l'analyse de la documentation sur les équipements à utiliser, nous avons établi le dimensionnement du concentrateur cylindro-parabolique en tenant compte de l'effet du rayonnement solaire.

L'étude que nous avons réalisée elle nous a permis de connaître le fonctionnement de ce système et de prévoir la température atteinte du fluide à l'entrée et à la sortie de l'absorbeur .

Nous avons montré que cette température au niveau de l'absorbeur dépend de plusieurs facteurs dont les plus importants sont :

La variation de l'éclairement solaire qui varie au cours de la journée

La géométrie du réflecteur (surface du collecteur, angle d'ouverture)

Pour rendre ce prototype complètement autonome et plus performant, il serait judicieux de le faire fonctionner en utilisant un fluide caloporteur et transmettre cette chaleur par l'intermédiaire d'un échangeur à du fluide en mouvement.

Après le teste de concentrateur cylindro-parabolique solaire réalisé nous avons conclu que Les rayonnements solaires orientés sur le récepteur fournissent des températures adéquates pour but final de produire de la chaleur ou l'énergie thermique.

Nous remarquons que la température du récepteur peut atteindre des températures de l'ordre de 120 , 157 °C .respectivement.

Le domaine d'application de ce système est la production d'électricité via un système de génération électrique.

Il est probable que les systèmes à concentration contribueront de manière non négligeable aux objectifs de réduction des émissions de CO₂ et aux problèmes de développement.

En perspective, nous allons focaliser notre étude pour caractériser ce type du concentrateur cylindro-parabolique ovale, cette connaissance des caractéristiques nous permettent d'avoir les meilleures applications.



Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] **R. Bernard, G. Menguy, M. Schwartz**, Le rayonnement solaire, conversion thermique et application. Technique et Documentation, Paris, (1979).
- [2] **L. Lacas**. Le guide des énergies douces. Le soleil, la maison solaire, le vent, la biomasse, la géothermie, l'énergie hydraulique, Dargaud Editeur. (1980).
- [3] <https://www.wunderground.com/history/airport/DAUO/2016/5/21/DailyHistory.html>
- [4] **J.M. chassériaux**, Conversion thermique du rayonnement solaire, bordas Paris. 1984.
- [5] <http://www.afblum.be>
- [6] **Dominique, Michèle Frémy**, Le monde et Astronomie, quid 2001, France Loisir, Paris (2001).
- [7] <http://www.afblum.be>
- [8] <http://www.geodutienne.be>
- [9] **F.G. Acién Fernandez, F. Garcia Camacho**, Modeling of Biomass productivity in tubular photobioreactors for microalgal Cultures, Effects of Dilution Rate, tube diameter and solar irradiation, Biotechnology and bioengineering. Vol 58, N: (1998). 605-616.
- [10] <http://blog.lionelmaraval.fr>
- [11] **A.A. SFEIR, G. GUARRACINO**, Ingénierie des systèmes solaires, application à l'habitat. Technique et documentation (1981).
- [12] **Retscreen**, Photovoltaic Background, International Renewable energy decision support centre, Resources Canada (2001-2002). www.retscreen.net.
- [13] **P. Bendt, M. Collares Pereira, A. Rabl**, The frequency distribution of daily insolation values, *Solar Energy*, 27(1), (1981), pp 1-5
- [14] <http://www.ecohabitation.com>
- [15] **C. Zidani, F. Benyarou**, Simulation de la position apparente du soleil et estimation des Energies Solaires incidentes sur un Capteur Plan pour la Ville de Tlemcen en Algérie. *Rev. Energ. Ren*, Vol. 6, (2003) pp 69-76
- [16] **Alain Ferrère et Gilles Flamant**, captation transformation et conversion de l'énergie solaire par les technologies à concentration. Thème 7. Solaire thermique, édition : Académie des sciences et Technologies, (2002).
- [17] **U.H. Kurzweg, J.P. Benson**, iso-intensity absorber configurations for parabolic concentrators. Edition: solar energy, (1982).
- [18] **M. Audibert**, la concentration du rayonnement solaire. International centre for theoretical physics' 3 séminaire sur l'énergie solaire, 6-17 Septembre (1982).

- [19] **N.ESKIN**, transient performance analysis of cylindrical parabolic concentrating collectors and comparison with experimental results, thèse, (1999).
- [20] **J. Bernard**, énergie solaire calculs et optimisations, édition : ellipses, (2004).
- [21] **A, Khedim**. L'énergie solaire et son utilisation sous forme thermique et Photovoltaïque, Centre de Publication Universitaire, (2003).
- [22] **J, Bernard** Energies solaire, calculs et optimisation. Ellipse Edition Marketing. Paris. (2004).
- [23] **B. Stine, Michael Geyer**, Power from the sun, Lyle centre for regenerative studies 2001.
- [24] **R. Benchrifa, D. Zejli, A. Bennouna**, Potentiel de l'introduction de la Technologie Dish /Stirling au Maroc, forum international sur les énergies Renouvelables 8- 10 mai (2012), Tétouane-Maroc.
- [25] **U.H. Kurzweg, J.P. Benson**, Iso-Intensity absorber Configurations For parabolic Concentrators, Solar energy 29(1982)167-174.
- [26] **Dan dye, Byard Wood**, Non-imaging devices for uniform irradiation on Planar Surface For parabolic Concentrators, Semi-Annual Technical Progress Report August (2002).- April 2003. Nevada. Report 41164R03.
- [27] **M. Srinivasan, L.V. Kulkarni**, A simple technique of fabrication of parabolic concentrators. Solar energy 22 (1978) 463-465.
- [28] **A.A. SFEIR, G. GUARRACINO**, Ingénierie des systèmes solaires, application à l'habitat. Technique et documentation (1981).
- [29] **Dominique, Michèle Frémy**, Le monde et Astronomie, quid 2001, France Loisir, Paris (2001).
- [30] **J.E. Braun et J.C. Mitchell**, Solar geometry for fixed and tracking surface. Solar Energy 31 (1983) 394-444.
- [31] **Vudichai Neeranartvong**, Etude d'un concentrateur solaire a simple réflexion. Thèse de Docteur-Ingénieur, Institut national polytechnique de Toulouse. juillet (1983).
- [32] **B.Y.H. Liu et R.C. Jordan**, The interrelationship and characteristic distribution of distribution of direct, diffuse and total solar radiation, Solar Energy 4 (1960) 1-19.
- [33] **H. Naito, Y. Kohsaka, D. Cooke**, The development of solar receiver for high Efficient thermionic/ thermoelectric conversion system. Encyclopedia of physical science ET technology (1995).
- [34] **A. Steinfeld et R. Palumbo**, Solar thermochemical process technology. Encyclopedia of physical science et technology 15(2001) 237-256.
- [35] **Paul De Neyer**, Energies solaire thermique, Guide des Energies Renouvelables, mai (2003).
- [36] **D. Kedwards, L. Marlot**, Capteurs Solaires, Edition S C M, Paris (1979).
- [37] **A. Steinfeld et R. Palumbo**, Solar thermochemical process technology. Encyclopedia of

physical science et technology .vol.15.(2001).pp.237-256

- [38] **D. Guerraiche***, **A. Benderradji** et **H. Benmoussa** Facteurs optiques et géométriques caractérisant un concentrateur cylindro-parabolique, *Revue des Energies Renouvelables* Vol. 14 N°2 229 – 238,(2011).
- [39] **Tushar K. Ghosh_ Mark A. Prelas**; *Energy Resources and Systems, Volume 2: Renewable Resources*, Springer Dordrecht Heidelberg London New York(2011)..

ption Et réalisation d'un concentrateur solaire cylindro-parabolique ovale

né

Le travail effectué porte sur une étude expérimentale de conversion d'énergie solaire en chaleur thermique en utilisant un concentrateur solaire cylindro-parabolique ovale orienté à la poursuite du soleil. L'expérience a été effectuée sur un prototype de concentration de 1 m sur 2m de surface et un récepteur en cuivre, de 14 mm de diamètre et 1000 mm de longueur, situé au plan focal du concentrateur destinée à collecter l'énergie solaire concentrée.

Clés : concentrateur, cylindro parabolique, ovale, récepteur, point focal, système de poursuite du soleil.

تصميم وانجاز مكثف شمسي أسطواني قطع مكافئ وبيضاوي الشكل.

موجز

العمل يهدف لإجراء دراسة تجريبية لتحويل الطاقة الشمسية، الى طاقة حرارية باستخدام المكثفات الشمسية الأسطوانية القطع مكافئة والبيضاوية الشكل عن طريق توجيه نظام تعقب (يتابع) الشمس. التجربة اجريت على نموذج تركيز (مكثف) أولى مساحته 1 م على 2م ومستقبل من النحاس بقطر 14 ملم و1000 مم طولاً، يقع في طول البؤرة الخطية للمكثف الطاقة الشمسية المركزة.

الكلمات الأساسية: مكثف، قطعي مكافئ، أسطواني، بيضاوي، متلقى بؤرة، نظام تعقب الشمس.

ption (Design) and realization of an oval parabolic cylinder solar concentrator

Summarized

The made work concerns an experimental study of conversion of solar energy in heat by using an oval cylindro-parabolic solar concentrator directed by means of a system of pursuit (continuation) of the sun. The experience (experiment) was made on a prototype of concentration of 1 m on 2m of surface and a receiver copper, 14 mm in diameter and 1000 mm length, situated in the focal plan of the concentrator to collect the concentrated solar energy.

Keywords: concentrator, parabolic, oval, receiving cylinder, focal, system of pursuit (continuation) of the sun.